

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**Návrh statistických metod pro posuzování vlivů při měření plynných emisí
stacionárních zdrojů znečišťování.**

**Design of statistical methods for assessing the effects of the measurement of
gaseous emissions of stationary sources of pollution.**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

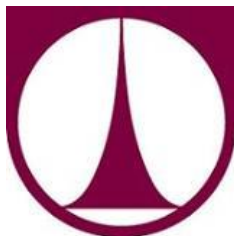
NGUYEN VIET LOC

Prosinec 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 Strojirenství
2302R022 Stroje a zařízení,
Dopravní stroje a zařízení

Návrh statistických metod pro posuzování vlivů při měření plynných emisí stacionárních zdrojů znečišťování.

Design of statistical methods for assessing the effects of the measurement of gaseous emissions of stationary sources of pollution.

Bakalářská práce

KVM – BP – 283

NGUYEN VIET LOC

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Lubomír Moc, CSc

Konzultant bakalářské práce: Ing.Ph.D. Novák Jan

Počet stran: 62

Počet obrázků: 2

Počet tabulek: 11

Počet grafů: 22

Prosinec 2012

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Název: Návrh statistických metod pro posuzování vlivů při měření plynných emisí stacionárních zdrojů znečišťování.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá analýzou plynných emisí stacionárních zdrojů znečišťování a metodami měření emisí stacionárních zdrojů znečišťování. Navrhne postup statistického zpracování naměřených hodnot a způsob popisu nejistot při měření složek emisí a dalších veličin. Postup vyhodnocování je použit při zpracování souboru autorizovaných měření znečišťujících zdrojů. Podle statistických výsledků můžeme ohodnotit vlivy vstupních parametrů vůči výstupnímu emisnímu složení.

Klíčová slova: stacionární zdroj, emise, měření

Title: Design of statistical methods for assessing the effects of the measurement of gaseous emissions of stationary sources of pollution.

Annotation

This thesis mentions the analyses of exhaust fumes from some sources of stationary pollution and some methods of measurement. This shows steps for totalizing up the values measured and describes uncertainties methods to measure exhaust fumes and related constituents. Then, all steps for evaluating the automatically measured results are presented. According to the statistics, we can assess the effect of initial parameter on the output of exhaust fumes.

Key words: stationary pollution, emission, measurement

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2012

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářská práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

I encountered a lot of difficulties as a foreign student. Luckily, my teachers and colleagues helped me a lot during the time i studied here. Thanks to their precious help, i could complete the course. From bottom of my heart, i would like to express my sincere gratitude to:

- Mr. Doc. Ing. Moc Lubomír, CSc, a noble teacher who was very kind and considerate to instruct and help me greatly during my course
- All of the teachers who taught me during the course ,especially those who specialised in "Katedra Vozidel a Motoru".
- Students' office: lady Radka Dvořáková, lady Jaroslava Krejčová, lady Daniela stejskalová.
- My friends and colleagues: Aleš Splítek, Le Van Su, Eva Phuong Bui Thi.

There may be a lot of people that i have not listed here, but i also would like to give my thanks to them. I'm really sorry for this shortage.

In one word, thank you very much. Good luck and good health to everybody.

Seznam symbolů a jednotek

Značka	Veličina	Rozměr
C_s	Objemová koncentrace složky emise při měřené koncentraci kyslíku v podmínkách suchých plynů	[ppm, %]
C_v	Objemová koncentrace složky emise při měřené koncentraci kyslíku v podmínkách vlhkých plynů	[ppm, %]
$C_{s,3\%}$ $C_{s,5\%}$	Objemová koncentrace složky emise při referenčním obsahu kyslíku 3%, 5% v suchém plynu	[ppm, %]
$C_{s,N}$	Hmotnostní koncentrace složky emise při referenčním obsahu kyslíku 3%, 5% v suchém plynu přepočtená na normální stavové podmínky (p_N , T_N)	[mg.m ⁻³]
$C_{O_2,M}$	Objemová koncentrace kyslíku v suchém plynu	[%]
G_{pal}	Hmotnost spáleného paliva	[kg.h ⁻¹]
E	Hmotnostní tok složky	[kg.h ⁻¹]
f	Emisní faktor složky pro plynné a kapalné palivo	[Kg.m ³ _N .10 ⁶]
f_N	Fiktivní vlhkost spalin při normálních stavových podmínkách	[kg.m ⁻³]
G_{vzd}	Hmotnost spotřebovaného vzduchu na spálení paliva	[kg.h ⁻¹]
L_t	Teoretické množství vzduchu na spálení paliva	[kg.kg ⁻¹]
P	Statický tlak spalin v průřezu měření	[Pa]
Δp	Tlakový rozdíl	[Pa]
P_p	Atmosférický tlak	[Pa]
P_N	Normální tlak (101325 Pa)	[Pa]
t_{sp}	Střední teplota spalin v průřezu měření	[°c]
t_v	Teplota vzorku spalin v analyzátoru	[°c]
t_o	Teplota ovzduší	[°c]
t_s	Teplota spalovacího vzduchu (vstup)	[°c]
t_r	Teplota rosného bodu	[°c]
T	Absolutní teplota	[K]
V_{sp}	Objemový průtok spalin za provozních podmínek	[m ³ .s ⁻¹]
Y	Koeficient podílu vodíku a uhlíku v palivu	-
V_N	Objemový průtok spalin přepočtený na normální podmínky a suchý plyn	[m ³ _N .s ⁻¹]

D	Vnitřní průměr potrubí	[m]
S	Průřez potrubí v místě měření	[m ²]
δ	Rozšířená relativní nejistota měření	[%]
ρ_N	Hustota složky v normálních podmínkách	[kg.m ⁻³]
λ	Součinitel přebytku vzduchu	-
i	Index označení složky emise	-
Stř	Index označení střední hodnoty veličiny	-
N	Index označení normálních podmínek	-
CO	Axid uhelnatý	
NO _x	Oxidy dusíku	
NMHC	Nemetanové uhlovodíky	

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Teorie emisí.	12
2.1 Stacionární zdroj znečištění.....	12
2.2 Způsob měření a přehled používaných analyzátorů a dalších měřicích přístrojů.....	18
3. Způsoby vyhodnocování a limity emisí pro různé stacionární zdroje (Podle VYHLÁŠKY 146/2007 sb).	21
3.1 Jednorázové měření	21
3.2 Vyhodnocení jednorázového měření	22
3.3 Emisní limity.....	23
3.3.1 Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje podle druhu spalovaného paliva a druhu topeniště	23
3.3.2. Emisní limity pro stacionární pístové spalovací motory	24
3.3.3 Emisní limity pro spalovací zdroj – teplovzdušné přímotopné zdroje pro vytápění.....	25
3.3.4. Emisní limity pro konfigurace spalovacích zdrojů - plynových turbín integrovaných s kotli a podmínky jejich stanovení	26
4. Postup statistického zpracování naměřených hodnot a způsob popisu nejistot při měření složek emisí a dalších veličin.	28
4.1 Stanovení nejistoty měření	28
4.1.1 Obecné hodnocení podmínek měření	28
4.1.2 Formulace vstupních údajů.....	28
4.1.3 Výpočet nejistoty měření emisí stacionárních zdrojů	30
4.2 Vyhodnocení měření a nejistota hodnoty hmotnostní koncentrace složky emise.	32
4.3 Korekce objemové koncentrace na smluvní koncentraci kyslíku ve spalínách	33
4.4 Přepočet objemových koncentrací na hmotnostní koncentrace	33
4.5 Přepočet koncentrace v suchých plynech na koncentraci ve vlhkých plynech	34
4.6 Výpočet emisního toku složky.....	35

4.6.1 Měření objemového průtočného množství paliva	35
4.6.2 Určení objemového průtočného množství vzduchu	36
4.6.2.1 Měření objemového průtočného množství vzduchu	36
4.6.2.2 Výpočet objemového průtočného množství vzduchu	37
4.6.3 Stanovení hmotnosti spalín v cyklu.....	37
4.7 Výpočet emisního faktoru	38
5. Postup vyhodnocování znečišťujících zdrojů při zpracování souboru autorizovaných měření zdrojů.	40
5.1 Metoda regresní analýzy.....	40
5.2 Analýza jednotlivých zdrojů.....	41
6. Závěr	61
Seznam použité literatury	62

1. Úvod

Ochrana ovzduší a omezování škodlivých emisí je velkým problémem lidstva. Tyto škodlivé plyny jsou produkovány různými zdroji, jako jsou: stacionární zdroje a automobily zdroj...Měření a hodnocení limitů emisí z těchto zdrojů se provádě každý rok a musí splňovat vyhlášku ministerstva životního prostředí. Z jednotlivých výsledků měření, musíme najít způsob a statickou metodu na vyhodnocování u souboru těchto výsledků.

Cílem bakalářské práce je najít závislosti mezi složkami emisí a obsahem kyslíku ve výstupním výfuku, a nalézt zvýšení nebo snížení trendu škodlivých složek výfukových plynů v průběhu času.

Podrobně jsou analyzovány výsledky z měření emisí kogeneračních jednotek, které byly provedeny Katedrou vozidel a motorů v průběhu let 2003 až 2011. Údaje o měření plyných emisí byly převzaty z protokolů o autorizovaném měření emisí, které je KVM oprávněna provádět dle Rozhodnutí MŽP č.3562/820/09/HL, obdobných rozhodnutí z předchozích let.

2. Teorie emisí.

2.1 Stacionární zdroj znečištění.

Stacionární zdroj znečištění je takový zdroj, jehož pohonná jednotka je nepohyblivě uložena na pevném základě, stejně jako stroj jí poháněný. Stacionární zdroje znečištění dělíme podle tepelného příkonu na:

- malé do příkonu 0,2 MW,
- střední.... 0,2 - 5 MW,
- velké.... nad 5 MW.

Mezi malé a střední stacionární zdroje patří i kogenerační jednotky, dále kotle pro vytápění a výroby TUV (teplé užitkové vody). V práci jsem se zabýval v experimentální části pouze problematikou kogeneračních jednotek.

- Kogenerační jednotky

Co je "kogenerace"

Kogenerace je technologický proces sdružené (kombinované) výroby elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách. Při kombinovaném způsobu výroby nedochází ke spalování hořením v kotli, ale spalování probíhá ve spalovacím motoru, který přímo převádí energii paliva na energii mechanickou a následně na elektrickou a teplo.

- Hlavní komponenty kogenerační jednotky
 - Pohonný agregátor
 - Generátor
 - Výměníky pro využití tepla z chladicího okruhu (voda, olej), včetně potrubních rozvodů spalínového výměníku
 - El. části pro vyvedení výkonu a vlastní spotřeby
 - Systém pro automatické řízení včetně startu, připojení el. výkonu a spotřeby tepla

- Princip motorové kogenerační jednotky.

Zdrojem energie kogeneračních jednotek je nejčastěji plyné palivo nebo bioplyn. V současné době převládá použití zemního plynu. Jako spalovací motor se používá pístový spalovací motor nebo plynová turbína, která převádí energii z paliva na energii mechanickou. Připojený elektrický generátor následně převede mechanickou energii na energii elektrickou. Teplo vzniklé v chladicí soustavě a ve výfukových plynech se využívá pro zásobování teplem a nebo v nejrůznějších aplikacích např. pro vytápění, sušení, ohřev

medií, výrobu teplé vody nebo páry. Páru lze opět využít pro výrobu další elektrické energie v parní turbíně a tím zvýšit poměr vyrobené elektrické energie proti teplu.

- Složení emisí ze stacionárního zdroje znečištění
 - Oxid uhelnatý CO
 - Oxid uhličitý CO₂
 - Oxidy dusíku NO_x (oxid dusnatý NO, oxid dusičitý NO₂ a v malé míře i netoxický oxid dusný N₂O)
 - Nespálené uhlovodíky HC
 - Oxid siřičitý SO₂
 - Kyslík O₂
 - Sloučeniny olova Pb
 - Částice PM

- **Vznik chemických škodlivin u stacionárních zdrojů znečišťování.**

Oxid uhličitý CO₂: Při spalování uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká jako výsledek dokonalé oxidace uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý a vodní pára .

Oxid uhelnatý CO: vzniká nedokonalým spalováním při nedostatku kyslíku, disociací produktů dokonalého spalování při teplotách nad 2000 °C, neúplnou oxidací v důsledku „zamrznutí“ reakcí při spalování za nižších teplot ve zhášecích zónách (tj. při stěnách) válce motoru (příčinou je přitom i určitá nehomogenita tzv. homogenních směsí).

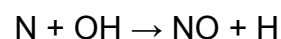
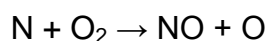
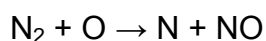
Nespálené uhlovodíky HC: jejich přítomnost ve výfukových plynech vysvětlují dva zdroje:

a) Z paliva – jako výsledek předčasně zastavených reakcí v některých zónách spalovacího prostoru nebo produkt tepelných krakovacích a dalších chemických reakcí, které byly ukončeny dříve než mohl proběhnout celý proces jejich oxidace. Na obsah nespálených HC má značný vliv teplotní režim motoru, konstrukce spalovacího prostoru a konstrukce samotného pístu (tzv. „zhášecí prostory“ s určujícím činitelem výšky uložení 1. pístního kroužku) a samozřejmě bohatost směsi (která ovlivňuje rychlost hoření směsi). Optimální směšovací poměr z hlediska

nespálených HC je v oblasti mírně chudé směsi (při $\lambda \sim 1,20 - 1,30$). Velký vliv na obsah nespálených HC mají rovněž fyzikálně chemické vlastnosti paliva. Těsná vazba mechanismu vzniku nespálených HC na průběh u spalovacího procesu ovlivňuje složení této výfukové škodliviny. Nespálené uhlovodíky jsou směsí různých skupin HC: nejmenší škodlivost mají obvykle původní HC z paliva, hygienicky nejrizikovější jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (označení PAH nebo PAU) vytvořené polymerizací jiných uhlovodíků s kruhovou vazbou.

b) Z mazacího oleje – jsou to skupiny nejtěžších uhlovodíků se zvýšeným podílem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH). Těžko odpařitelné uhlovodíky jsou ve spalínách obsaženy jako aerosol a jsou často vázány na další výfukovou škodlivinu, pevné částice PM.

Oxidy dusíku NO_x : Vznik NO_x se vysvětluje především termickým mechanismem, v malé části dochází ke vzniku NO_x i tzv. promptním způsobem. Při těchto reakcích vzniká oxid dusný (N_2O), který není toxický, oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusnatý (NO) – oba poslední jsou toxické. Oxidy dusíku vznikají v motorech při vysokých teplotách a tlacích a jejich rozhodující podíl se vytváří v době nejteplejší fáze spalování, tj. na začátku oxidace paliva a k vytvoření dochází ve frontě plamene. Oxidy dusíku jsou tvořeny zhruba z 95% oxidem dusnatým NO , který vzniká vazbou dusíku s molekulárním, ale i atomárním kyslíkem. V průběhu expanze dochází k dalším reakcím, které mohou koncentraci NO_x snižovat. Mechanismus tvorby NO_x podrobněji popisuje Zeldovičův termický mechanismus vzniku NO (1946) s oxidací dusíku ve válci motoru při teplotách nad 1000°C - projevují se vlivy zejména teploty, doby setrvání molekul dusíku v pásmu plamene a nejvyšších teplot a vliv koncentrací volného kyslíku:



Tvorba NO_x při spalovacím procesu je výrazně závislá na bohatosti spalované směsi - nejvyšší tvorba NO_x je v oblasti mírně chudých směsí. Výrazný pokles NO_x se zvyšováním hodnoty součinitele přebytku vzduchu λ souvisí s poklesem spalovacích teplot (teplot v zóně plamene): této skutečnosti využívají především přeplňované vznětové motory ($\lambda \sim 1,6 - 1,8$), ze zážehových motorů potom

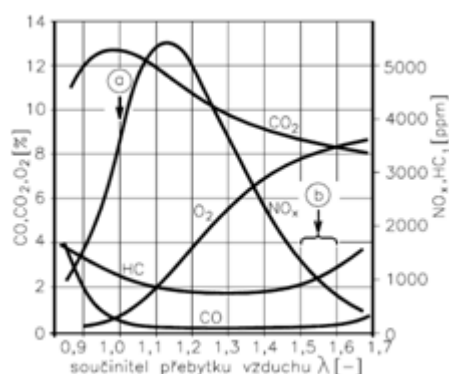
přeplňované plynové motory, spalující extrémně chudou homogenní směs ($\lambda \sim 1,5 - 1,6$).

Emise CO, HC a NO_x jsou někdy označovány souhrnným názvem plynné emise. Koncentrace jednotlivých složek těchto škodlivin závisí zejména na kvalitě spalované směsi (bohatosti, tj. hodnotě λ a povaze směsi, tj. homogenní nebo heterogenní). Na obr.1 je zakreslena závislost, zjištěná na plynovém přeplňovaném motoru, spalujícím směs propanu a vzduchu (zážehový motor s kompresním poměrem $\varepsilon = 10$, $n = 1200$ 1/min, 100 % zatížení). V diagramu jsou vyznačena dvě možná seřízení motoru pro dosažení nízkých výfukových emisí:

a - Spalování stechiometrické směsi, 3 složkový katalyzátor: využívá se u převážné většiny

vozidlových zážehových motorů

b - Spalování extrémně chudé směsi, 2 složkový katalyzátor: využívá se u vozidlových vznětových motorů (může ale být i bez katalyzátoru) a u vozidlových plynových (zážehových) přeplňovaných motorů.



Obr.1: Závislost koncentrace plyných škodlivin ve výfukových plynech na bohatosti směsi

Kromě uvedených plyných škodlivin obsahují výfukové plyny ještě další předpisem sledovanou škodlivinu, pevné částice PM: emise PM jsou považovány za hygienicky velmi rizikové a nové zákonné předpisy v posledních 10 letech výrazně snižují přípustné emise PM.

Částice PM: (částice - pevná i kapalná fáze: saze, karbon, popel, oxidy síry, sírany kovů, aerosoly - mikrokapky nespálených uhlovodíků z paliva i motorového oleje, voda; na povrchu částic se usazuje i další, polotěkavá frakce nespálených

uhlovodíků). Jejich vznik je spojen především se spalovacím procesem, mají však přímou souvislost s kvalitou konstrukčního řešení motoru (spotřeba mazacího oleje), jeho technickým stavem a s použitým palivem. Při vstupu výfukových plynů do atmosféry dojde účinkem rychlého ochlazení výfukových plynů jejich zředěním atmosférickým vzduchem ke spojování těchto částic. Ve většině případů se rozměr škodlivých částic pohybuje v rozsahu $0,3 \div 1 \mu\text{m}$ a na jejich povrchu se usazují těžko odpařitelné skupiny nespálených uhlovodíků (zejména PAH). Účinným prostředkem ke snižování emisí PM jsou konstrukční úpravy ke snížení spotřeby mazacího oleje a omezování obsahu síry v palivu. Výfukové plyny znečišťují ovzduší i dalšími složkami, které přímo nepodléhají kontrole podle emisních předpisů: omezování jejich obsahu ve spalínách je zajištěno jiným způsobem, např. snižováním přípustného obsahu v motorovém palivu.

Sloučeniny olova Pb (sublimované halogenidy - bromidy, chloridy) z antidetonačních přísad v benzinových palivech.

- **Působení výfukových škodlivin na životní prostředí.**

Oxid uhličitý CO₂

Výrazné přispívá ke skleníkovému efektu, který je způsoben absorpcí zemským povrchem rozptýleného slunečního záření molekulami tzv. radiačních plynů, které výrazně pohlcují některé vlnové délky v oboru infračerveného tepelného záření. Pohlcené záření se změní v teplo, CO₂ podporuje zvyšování teploty přízemní vrstvy atmosféry. Oxid uhličitý přímo jedovatý není. Řešení snížení koncentrací ve výfukových spalínách je zmenšení spotřeby uhlovodíkových paliv (zvýšení účinnosti motoru), nebo přechod na paliva s nízkým podílem uhlíku či přímo na vodík (emise jen v podobě H₂O).

Oxid uhelnatý CO

Bezbarvý a bez zápachu, hustota téměř stejná jako u vzduchu, rychle se váže na krevní barvivo (hemoglobin) a blokuje přenos kyslíku krví - prudký krevní jed. Poškozuje funkci mozku - nervový plyn. Za zvýšené koncentrace CO₂ se účinek CO ještě zvyšuje.

Nespálené uhlovodíky HC

Dráždivě působí na sliznice, poškozují dýchací cesty, podporují tvorbu jedovatého, silně okysličujícího ozónu O_3 za spolupůsobení ultrafialového záření (především poškozují zelené části rostlin) a tvorbu fotochemického smogu (jedovaté účinky). V horních vrstvách atmosféry podporuje také skleníkový efekt. Ve skupině uhlovodíků jsou obsaženy např.: metan, etan, aromáty, aromatické polycyklické sloučeniny, aldehydy. Aldehydy vznikají během spalování a jejich účinky se projevují v krátké době působení i při nízkých koncentracích. Nejrizikovější skupinou nespálených uhlovodíků jsou polycyklické aromatické uhlovodíky PAH, které mají karcinogenní a mutagenní charakter. Relativně nejmenší účinky mají uhlovodíky, jež jsou obsaženy přímo v palivu.

Oxidy dusíku NO_x

NO (není toxický) se váže rychle na hemoglobin (jako CO), ale rychle se odbourává. V atmosféře téměř okamžitě oxiduje na NO₂ (zejména v přítomnosti O₃), který toxický je. NO₂ je štiplavě páchnoucí, oranžový plyn napadá plíce a sliznice, váže se na hemoglobin. Je nebezpečný při chronickém působení; způsobuje dušnost a vyvolává kašel vlivem dezinformování regulačního systému. Spolu s HC je výchozí látkou pro oxidační reakce vedoucí k tvorbě ozónu a různých peroxidů uhlovodíků. V půdě působí hnojivé, avšak poškozují nadzemní části rostlin a ovlivňuje vyváženost živin. Dusitany vedou na vznik nitrosaminů, které jsou karcinogenní.

Pevné částice

Působí mechanickým drážděním živé tkáně. Po snadném vdechnutí ulpívají v dýchacích cestách, hromadí se, čímž mechanicky i chemicky zatěžují dýchací ústrojí. Dále dochází k uvolňování dříve adsorbovaných plynů, které pronikají do organismu. Tyto procesy způsobují karcinogenní bujení a mutagenitu. Pevné částice PM patří spolu s některými sloučeninami ze skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků PAH mezi nejrizikovější složky výfukových plynů.

Oxidy síry SO₂

SO₂ je štiplavě páchnoucí, bezbarvý plyn. Silně napadá sliznice, snižuje odolnost proti infekcím. Tvoří kyselé deště, poškozují lesní vegetaci.

Sloučeniny olova Pb

Olovo Pb je jedovatý těžký kov, kumuluje se v živých organizmech, nebezpečný na konci potravního řetězce, kde je člověk.

2.2 Způsob měření a přehled používaných analyzátorů a dalších měřicích přístrojů.

1) CO - měříme NDIR analyzátozem (nedisperzní infračervený absorpční analyzátor). Tento analyzátor využívá pohlcování infračerveného (tepelného) záření různými plyny při různých vlnových délkách. Ze žhaveného zdroje se paprsky vedou dvojí cestou - měrnou kyvetou s analyzovanou směsí (kde se úměrně koncentraci pohltí složky specifické pro měřený plyn) a srovnávací kyvetou, plněnou neabsorbujícím plynem (N_2). Zářivý tok je pohlcován ve dvou komorách měřicího prostoru, naplněných čistým měřeným plynem. Rozdíl intenzit záření je převáděn na periodický tlakový signál.

2) HC - měříme FiD analyzátozem (plamenoionizační analyzátor). Měření dle stupně ionizace H_2+O_2 plamenu, který je za nepřítomnosti uhlíku prakticky neionizovaný (nevodivý). Měří se elektrický odpor mezi elektrodami v plameni H_2 + syntetického vzduchu (směs O_2 a N_2) s přívodem ohříváných spalin. Kalibrace se provádí pomocí směsi vzduchu a CH_4 nebo C_3H_8 na jejichž koncentraci nebo častěji objemový podíl je výsledek přepočítáván.

3) NO_x - měříme CLA analyzátozem (chemiluminiscenční analyzátor). Tento analyzátor využívá emise fotonů z části vybuzených molekul NO_2 vzniklých oxidací NO ozónem. Analyzovaný plyn se zahřeje na $650^\circ C$, kdy se veškerý NO_2 štěpí na NO (+1/2 O_2), a po ochlazení se NO oxiduje ozónem na NO_2 . Emise světelných kvant se měří po zesílení fotonásobičem. Pokud se štěpení neprovede, měří analyzátor koncentraci NO ve výfukových plynech.

4) O_2 – OXYMAT 5 E (paramagnet)

5) NO_x a CO - lze dle vyhlášky MŽP č. 146/2007 Sb. měřit i analyzátory s elektrochemickými články. V těchto měřicích systémech se koncentrace složek emisí převádí na elektrické napětí, které vzniká při chemické reakci složky v článku. Výhodou těchto analyzátorů je malá hmotnost a nepřítomnost snadno mechanicky zranitelných součástí.

6) Měření s elektrochemickými analyzátory typ MRU 95/3 CD

Analyzátory spalín MRU 95/3 CD je analyzátor s elektrochemickými články. Potřebné části měřicího přístroje, jsou: sonda, nádržka kondenzátu, jemný filtr, tiskárenský papír, teplotní čidlo.

Analyzátory spalín MRU 95/3 CD jsou měřicí přístroje, které je možné používat při autorizovaných měřeních emisí. Hodnoty emisí v práci byly získány tímto analyzátozem.

Přístroj provádí kontinuální měření: O_2 -CO-CO₂-SO₂-NO-NO₂-NO_x - teplota spalín - teplota okolí - tlak - hustota kouře černé - účinnost spalování - přebytek koeficient ztráty tepla výfukových zplodin – vzduch. V údajích ppm nebo mg / m³. analyzátor provádí dále přepocet údajů na zvolený obsah kyslíku ve spalínách a to na: 3% / 8% / 13% . Měření lze provádět pro různé druhy paliva např: zemní plyn, zkapalněný plyn, svítiplyn, lehký olej, těžký topný olej, dřevo a uhlí.

Funkční princip:

Po zapojení běží asi 2-3 vt. automatický zkušební program, tj. mikroprocesor v analyzátoru kontroluje všechny interní funkce. Poté se objeví hlášení "Gerat o.k." přístroj v pořádku a začíná běžet asi po 3 minut. Proplachuje senzory okolním, příp. čistým vzduchem. Asi po 3 minut . nastaví mikroprocesor v analyzátoru "Nullpunkt" nulový bod a měřicí přístroj je schopen měření. Ne najde-li mikroprocesor "Nullpunkt" nulový bod, ukáže displej "sensoren nicht bereit" senzory nejsou připraveny.

Po úspěšné kalibraci se zavede odběrová sonda plynu do výfukové pohrubí a vestavěným čerpadlem plynu membránové čerpadlo z výfukové pohrubí nasává kouřový spalina. Na hrotu sondy je NiCr-Ni- plášťový termočlánek, jímž se zjišťuje teplota nejhustšího toku spalín maximální teplota v spalínách.

Průhledná odběrová hadice plynu vede kouřové plyn přes hrnec kondenzátoru a jemný filtr k senzorům v MRU 95/3.

Dopravní čerpadlo plynu získává za minutu asi 1litr kouřového plynu. Senzory potřebují k reakci jen asi 200 ml. Zbytek se volně vyfukuje. Čerpadlo musí dopravovat přesně regulovaný objem a proud plynu musí vykazovat určitý tlak, aby molekuly plynu mohly přes difúzní mřížku pronikat do senzorů.

Analogové hodnoty senzorů jsou mikroprocesorem vyhodnocovány a indikovány na displeji, event, vytištěny, příp. Znázorněny na počítači.

Černá hadice plynu slouží jen k měření jemného tahu. Neměla by se používat k měření plynu, tím zůstává prosta kondenzátu. Volný průchod z hrotu sondy až k senzoru tenzometrického můstku DMS tak zůstává v MRU 95/3 CD.



Obr. 2: Měření s elektrochemickými analyzátoru typ MRU 95/3 CD.

3. Způsoby vyhodnocování a limity emisí pro různé stacionární zdroje (Podle Vyhláška 146/2007 Sb).

Podmínky měření emisí stacionárních zdrojů popisuje vsoučasné době vyhláška MŽP 146/2007 Sb.

3.1 Jednorázové měření.

(1) Jednorázové měření se provádí u zvláště velkých, velkých a středních zdrojů tak, aby byly stanoveny emise každého jednotlivého zařízení zdroje

a) slévárny železných kovů s produkční kapacitou nad 20 t/den
b) po každé záměně paliva nebo suroviny nad rámec schváleného provozního řádu,

c) po každém významném a trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zařízení zdroje, který by mohl vést ke změně emisí, a to do 3 měsíců od vzniku některé ze skutečností uvedených pod písmeny a) až c). Místa odběru vzorků nebo měření emisí jsou popsána v provozním řádu zdroje nebo v případě, že u zdroje se provozní řád nezpracovává, Schválení měřicího místa českou inspekcí životního prostředí (dále jen "inspekce") je součástí podmínek kolaudačního nebo jiného obdobného rozhodnutí. Popis měřicího místa se uvádí v provozním řádu zdroje.

(2) Jednorázové měření v místech odběru vzorků nebo měření stanovená podle odstavce 1 se dále provádí

a) u zvláště velkých zdrojů dvakrát za kalendářní rok, nejdříve než po uplynutí 3 měsíců od data předchozího měření, pokud provozovatel nemá povinnost měřit kontinuálně nebo pokud tato povinnost není stanovena zvláštním právním předpisem¹⁾ nebo přílohou č. 14 k této vyhlášce jinak,

b) u velkých zdrojů jedenkrát za kalendářní rok, nejdříve než po uplynutí 6 měsíců od data předchozího měření, pokud provozovatel nemá povinnost měřit kontinuálně nebo pokud není stanoveno zvláštním právním předpisem¹⁾ jinak,

c) u středních zdrojů jednou za 3 kalendářní roky, ne dříve než po uplynutí 18 měsíců od data předchozího měření, a to u kotlů spalujících tuhá, kapalná nebo plynná paliva o tepelném výkonu rovném nebo vyšším než 1 MW a dále u zdrojů, u kterých se dodržování emisních limitů dosahuje úpravou technologického řízení výrobního procesu nebo použitím zařízení k čištění odpadního plynu,

d) u středních zdrojů nespadajících pod písmeno c) jednou za 5 kalendářních roků, ne dříve než po uplynutí 30 měsíců od data předchozího měření.

(3) Termín, rozsah měření a autorizovanou osobu, která bude měření provádět, oznámí provozovatel písemně inspekci nejpozději 14 dní před datem zahájení měření. Případné změny oznámení provozovatel ohlásí inspekci neprodleně; v případě změny termínu měření postupuje provozovatel v dohodě s inspekci.

(4) Jednorázovým měřením se stanovují emise znečišťujících látek, pro něž má daný proces určeny emisní limity, pokud pro ně není stanovena povinnost měřit kontinuálně.

(5) Pro jednorázové měření emisí lze použít pouze těch měřicích metod, které umožní stanovit koncentrace znečišťujících látek alespoň v intervalu od 10 % do 200 % emisního limitu. Technické normy jednorázového měření obsahuje příloha č. 5 k této vyhlášce.

(6) Jednorázová měření zajišťují provozovatelé prostřednictvím autorizované osoby.

(7) Jednorázové měření u zdroje lze nahradit měřením kontinuálním, a to na základě žádosti provozovatele.

3.2 Vyhodnocení jednorázového měření

(1) Výsledky jednorázového měření se zpracují tak, aby je bylo možno porovnat s emisními limity. Schopnost zdroje dodržovat emisní limit je prokázána, pokud průměr jednotlivých měření koncentrace znečišťující látky za celé měření vypočítaný podle odstavců 3 až 5 je menší nebo roven hodnotě emisního limitu a současně každá hodnota koncentrace znečišťující látky zjištěná jednotlivým měřením je menší než 120 % emisního limitu, pokud zvláštní právní předpis¹⁾ nestanoví jinak. Obdobně se hodnotí dodržení emisního limitu, je-li vyjádřen jinou měřitelnou veličinou než koncentrací znečišťující látky.

(2) U jednorázového měření koncentrace znečišťujících látek prováděného přístroji pro kontinuální měření se emisní limit považuje za dodrženy, je-li aritmetický průměr třicetiminutových středních hodnot vypočtený podle odstavce 5 menší nebo roven hodnotě emisního limitu a současně každá třicetiminutová střední hodnota zjištěné koncentrace znečišťující látky je menší než 120 % emisního limitu, pokud zvláštní právní předpis¹⁾ nestanoví jinak.

(3) Vyhodnocení jednorázového měření obsahuje údaj o hmotnostní koncentraci znečišťující látky, jejím hmotnostním toku a měrné výrobní emisi a podmínky jejich platnosti pro jednotlivé měřené zařízení nebo technologický proces. Je-li hodnota

měrné výrobní emise současně stanovena u zdroje jako emisní limit, je její případné překročení prokázané na základě výsledků jednorázového měření považováno za překročení emisního limitu.

(4) Jednorázové měření koncentrace znečišťujících látek manuálními metodami se vyhodnotí jako střední hodnoty za dobu odběru vzorku vyjádřené po přepočtu na stanovené podmínky a vážený průměr těchto hodnot za celé měření.

(5) Jednorázové měření koncentrace znečišťujících látek přístroji pro kontinuální měření se vyhodnotí jako střední hodnoty za každých 30 minut měření vyjádřené po přepočtu na stanovené podmínky a jako aritmetický průměr těchto hodnot za celé měření.

(6) Jednorázové měření koncentrace oxidu uhelnatého nebo oxidů dusíku provedené přístroji s elektrochemickými snímači na zdroji s kotli o jmenovitém výkonu každého z nich nižším než 5 MW spalujícími výhradně lehký topný olej, zemní plyn nebo paliva LPG se vyhodnotí jako střední hodnoty za každých 15 minut měření při provozu hořáku kotle vyjádřené po přepočtu na stanovené podmínky a jako aritmetický průměr těchto hodnot za celé měření.

(7) Na základě výsledků jednorázového měření se stanoví měrná výrobní emise znečišťující látky, nebo stanovené skupiny znečišťujících látek. Součinem měrné výrobní emise a počtu jednotek vztažené veličiny dosaženého v průběhu kalendářního roku se vypočte roční hmotnostní tok (roční emise) znečišťující látky.

3.3 Emisní limity.

3.3.1 Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje podle druhu spalovaného paliva a druhu topeniště.

- Emisní limity při spalování tuhých paliv jsou vztaženy k referenčnímu obsahu kyslíku 6 %, při spalování biomasy³ 11 %, při spalování kapalných a plyných paliv při referenčním obsahu kyslíku 3 %.
- Hodnoty emisních limitů pro každý jednotlivý zdroj se vztahují k tepelnému výkonu velkého nebo středního spalovacího zdroje.
- Stupeň odsiřování 75 %, nelze-li při spalování tuzemského paliva ve fluidních kotlích dosáhnout emisního limitu při únosném přídávku aditiva, musí být koncentrace snížena alespoň na 25 % původní hodnoty.

- Emisní limity fluidních kotlů se jmenovitým tepelným výkonem nižším než 5 MWt jsou stejné jako emisní limity klasických kotlů v závislosti na druhu spalovaného paliva.

Druh paliva a topeniště	Emisní limity podle jmenovitého tepelného výkonu spalovacího zdroje vztažené na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg.m ³]											
	0,2-1 MW				>1-5 MW				>5-50 MW			
	SO ₂	NO _x	TZL	CO	SO ₂	NO _x	TZL	CO	SO ₂	NO _x	TZL	CO
Tuhé palivo ve fluidním topeništi	2500	650	250	650	2500	650	250	650	800	400	100	250
Tuhé palivo ve výtavném topeništi	2500	1100	250	650	2500	1100	250	650	2500	1100	150	400
Tuhé palivo v ostatních topeništích	2500	650	250	650	2500	650	250	650	2500	650	150	400
Biomasa 3)	2500	650	250	650	2500	650	250	650	2500	650	250	650
Kapalnépalivo	2)	500	100	175	2)	500	100	175	1700	450	100	175
Plynné palivo obecně	35	200		100	35	200		100	35	200		100
Plynné palivo mimo veřejné distribuční sítě	900	200	50	100	900	200	50	100	900	200	50	100
Propan, butan a jejich směsi	35	300	50	100	35	300	50	100	35	300	50	100

Poznámky:

- 1) Též granulární nebo roštové kotle s přiřazenými fluidními reaktory, jejich kombinace s fluidními ohništi nebo tyto kotle s využitím prvků fluidní techniky.
- 2) Obsah sírv v kapalných palivech nesmí překročit limitní hodnoty obsažené ve zvláštním právním předpisu stanovujícím požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší.

Biomasou se rozumí biomasa podle zvláštního právního předpisu

3.3.2. Emisní limity pro stacionární pístové spalovací motory

A. Emisní limity pro spalovací zdroje – pístové spalovací motory, jejichž stavba či přestavba byla zahájena před 17. květnem 2006.

Druh pístového spalovacího motoru	Druha paliva	Emisní limit podle jmenovitého tepelného příkonu vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn pro TZL a Σ C vztaženo na vlhký plyn [mg.m ⁻³], při referenčním obsahu kyslíku 5%											
		0,2 - 1 MW				>1 – 5 MW				>5 MW			
		NO _x	TZL	Σ C	CO	NO _x	TZL	Σ C ¹	CO	NO _x	TZL	Σ C	CO ¹
Zážehové (Ottovy) motory	Kapalné palivové	500	130		650	500	130	150	650	500	130	150	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500			650	500		150	650	500		150	650
	Bioplyn, skládkový plyn	1000	130		1300	1000	130	150	1300	500	130	150	650
Vznětové (Dieselovy) motory	Těžký top. Olej, plynový olej	4000	130		650	4000	130	150	650	2000	130	150	650
	Zemní plyn a degazační plyn ³⁾	4000	130		650	4000	130	150	650	2000	130	150	650

Poznámky:

- 1) Úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu při hmotnostním toku vyšším než 3 kg/h,
- 2) Obsah síry v palivu nesmí překročit limitní hodnoty obsažené ve zvláštním právním předpisu stanovujícím požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší a v motorové naftě nesmí překročit 0,05 % hmotnostních.
- 3) Se vstřikovacím zapalováním

B. Emisní limity pro spalovací zdroje – pístové spalovací motory, jejichž stavba či přestavba byla zahájena před 17. Květnem 2006.

Druh pístového spalovacího motoru	Druha paliva	Emisní limit podle jmenovitého tepelného příkonu vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn pro TZL a ΣC vztaženo na vlhký plyn [mg.m ⁻³], při referenčním obsahu kyslíku 5%											
		0,2 - 1 MW				>1 – 5 MW				>5 MW			
		NO _x	TZL	$\Sigma C^{2)}$	CO	NO _x ¹⁾	TZL	$\Sigma C^{2)}$	CO	NO _x ¹⁾	TZL	$\Sigma C^{1)}$	CO
Zážehové (Otto) motory	Kapalné palivové	500	130		650	500	130	150	650	500	130	150	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500			650	500		150	650	500		150	650
	Bioplyn, skládkový plyn	1000	130		1300	1000	130	150	1300	500	130	150	650
Vznětové (Diesel) motory	Těžký top. Olej, plynový olej	4000	130		650	4000	130	150	650	2000	130	150	650
	Zemní plyn a degazační plyn ⁴⁾	4000	130		650	4000	130	150	650	2000	130	150	650

Poznámky:

- 1) Emisní limity pro NO jsou platné od 1. 1. 2008. Emisní limity se nevztahují na motory provozované méně než 500 hod/rok. Do 31.12. 2007 platí emisní limity pro NO_x uvedené v tabulce A.
- 2) Úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu při hmotnostním toku vyšším než 3 kg/h.
- 3) Obsah síry v palivu nesmí překročit limitní hodnoty obsažené ve zvláštním právním předpisu stanovujícím požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší a v motorové naftě nesmí překročit 0,05 %.
- 4) Se vstřikovacím zapalováním.

3.3.3 Emisní limity pro spalovací zdroj – teplovzdušné přímotopné zdroje pro vytápění.

- Přímotopným teplovzdušným přímotopným zdrojem pro vytápění se rozumí systémy, v jejichž zdrojích dochází k přímému styku plamene se vzduchem, resp. k míchání horkých spalin s ohříváním vzduchem, jehož část současně slouží jako zdroj kyslíku pro spálení paliva. Zdrojem znečištění ovzduší se rozumí soubor všech

teplovzdušných přímotopných zdrojů, které mohou být svedeny do jednoho výduchu dle § 4 odst. 7 zákona.

- V teplovzdušných přímotopných zdrojích pro vytápění se, dle druhu paliva určeného výrobcem spalovacího zdroje, smějí spalovat jen zemní plyn a dále propan, butan nebo jejich směsi a nebo bezolovnatá kapalná paliva s obsahem síry do 0,05 % hmotnostních, a to v souladu s technickými podmínkami stanovenými výrobcem spalovacího zdroje.

- Emisní limity pro teplovzdušné přímotopné zdroje pro vytápění odpovídají emisním limitům stanoveným pro zdroje velkých a středních spalovacích zdrojů, stanoveným v bodě 1 této přílohy, avšak jsou vztaženy k suchému plynu s referenčním obsahem kyslíku 17 % a jsou stanoveny podle kategorie spalovacího zdroje.

3.3.4. Emisní limity pro konfigurace spalovacích zdrojů - plynových turbín integrovaných s kotli a podmínky jejich stanovení

- Je-li za plynovou turbínou zařazen spalínový kotel bez přitápění nebo s přitápěním stejným palivem do výše 20 % tepelného příkonu plynové turbíny, platí pro tuto konfiguraci stejné emisní limity a referenční podmínky jejich stanovení jako pro plynové turbíny v bodě 4 této přílohy.

- V případě, že je za plynovou turbínou zařazen spalínový kotel s přitápěním jiným palivem nebo jeho tepelný příkon při použití stejného paliva překračuje tepelný příkon plynové turbíny, stanoví se emisní limit a referenční obsah kyslíku váženým průměrem limitních hodnot stanovených v bodě této přílohy a limitních hodnot stanovených v bodě 4 č. 1 této přílohy, podle podílů tepelného příkonu plynové turbíny a přitápěcího kotle.

- Tepelný příkon zdroje je stanoven výpočtem z výhřevnosti a množství spalovaného paliva. K tomu účelu se použije hodnota minimální výhřevnosti paliva, deklarovaná jeho výrobcem. Není-li udána, stanoví se jako součet výhřevnosti složek paliva, jejichž průměrný obsah stanoví akreditovaná laboratoř rozbořem používaného paliva.

Emisní limity pro plynové turbíny.

Objemový tok spalin [m ³ /h]	Emisní limit v mg/m ³ vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn při referenčním obsahu			
	TZL	SO ₂	NO _x	CO
<60000	100 ¹⁾	1700	350	100
≥60000	50 ²⁾	1700	300	100

Poznámky:

1) Při spalování uhlých suspensí a energetických plynů z neveřejných distribučních sítí; při spalování kapalných paliv a topných plynů z veřejných distribučních sítí je emisním limitem stupeň tmavosti kouře podle Bacharachovy stupnice, který nesmí překročit při všech provozních stavech 4. stupeň.

2) Při spalování uhlých suspensí a energetických plynů z neveřejných distribučních sítí; při spalování kapalných paliv a topných plynů z veřejných distribučních sítí je emisním limitem stupeň tmavosti kouře podle Bacharachovy stupnice, který nesmí překročit při trvalém provozu 2. stupeň zčernání a při najíždění 3. stupeň.

4. Postup statistického zpracování naměřených hodnot a způsob popisu nejistot při měření složek emisí a dalších veličin.

4.1 Stanovení nejistoty měření

4.1.1 Obecné hodnocení podmínek měření

Nejistota měření představuje odhad části výsledku měření, které charakterizuje rozmezí hodnot, v němž se nachází skutečná hodnota měřené veličiny vzhledem k relativně stálým podmínkám při měření. Klasifikaci nejistoty měření provedeme až po vyloučení hrubých a všech systematických chyb, které se při měření mohou vyskytnout, s ohledem na velmi obtížný popis relativně stálých podmínek měření a rovněž složité posouzení vlivu těchto jednotlivých složek na zjišťovaný (měřený) parametr, považujeme výsledky měření za náhodné veličiny, které se při měření realizují jednotlivými hodnotami náhodných proměnných.

Měřená veličina Y představuje výstup či výslednou hodnotu a závisí na určitém počtu vstupních veličin X_j a je proto popsána funkcí:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

Za vstupní proměnné považujeme zejména údaje z kalibračních protokolů etalonů použitých při kalibraci měřidel a dále všechny proměnné, které se uplatnily v průběhu měření. Protože skutečné hodnoty vstupních proměnných X_i nejsou ve většině případů známy, používají se jako vstupní údaje při posuzování celkové nejistoty ve výsledcích měření jejich odhady X_i .

Za míru nejistoty odhadů X_i lze použít experimentálně stanovený rozptyl σ^2_{xi} nebo jeho druhou odmocninu — střední směrodatnou odchylku.

V případě, že v souboru relativně stálých podmínek měření existují vstupní veličiny např. X_i , které jsou na sobě vzájemně závislé, je nutné za další část nejistoty považovat odhad kovariace těchto vstupních veličin.

4.1.2 Formulace vstupních údajů

Pokud se měření opakuje za relativně stálých podmínek a je prováděno s dostatečným rozlišením, zjistí se v naměřených hodnotách určitá variabilita. Pro n nezávislých měření je odhad X_i skutečné hodnoty veličiny X_j dán aritmetickým

průměrem jednotlivých naměřených hodnot $V_{i,j}$ pro $j = 1, 2, \dots, n$, tedy vztahem:

$$X_i = V_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{i,j}$$

Odhad střední směrodatné odchylky souboru naměřených hodnot v_i , popisující variabilitu střední hodnoty, je :

$$\sigma_{vi} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_{i,j} - V_i)^2}$$

Odhad rozptylu střední hodnoty veličiny X_i (výběrového rozptylu) je pak určen vztahem

$$\sigma_{xi}^2 = \frac{1}{n} \sigma_{vi}^2$$

Pro výpočet hodnotících parametrů je nutný dostatečný počet hodnot, při jejich malém počtu může dojít k podhodnocení nejistoty měření. Výsledek měření y (odhad skutečné hodnoty vstupní veličiny Y) dostaneme nahrazením vstupní veličiny X_j odhady jejich hodnot X_i z měření:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Velikost rozptylu výstupní veličiny pro nekorelované vstupní veličiny je dle vztahu :

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial X_i} \right]^2 \sigma_{xi}^2$$

kde $\partial f / \partial X_i$ je parciální derivace funkce $f(x)$ podle proměnné X_j . Za tuto hodnotu použijeme odhad hodnoty X_j . Rozptyl výsledku měření je určen součtem rozptylů, které vyjadřují nejistotu měření od jednotlivých vstupních veličin, násobených čtveřicí příslušných parciálních derivací. Velmi často můžeme předpokládat, že funkce $f(x)$ je lineární funkcí všech vstupních veličin X_j (případ většiny přímých měření), v tomto případě mají parciální derivace hodnotu jedna. Obdobný případ je i při použití relativních rozptylů nebo pokud je funkce $f(x)$ ve tvaru násobků, resp. Podílů vstupních veličin. Pak má předchozí vztah zjednodušený tvar:

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{xi}^2$$

event. Pro relativní rozptyly:

$$\delta_y^2 = \sum_{i=1}^n \delta_{xi}^2 \quad \text{kde} \quad \delta_{xi} = \frac{\sigma_{xi}}{X_i} \cdot 100(\%)$$

Pro korelované vstupní veličiny (veličiny, na sobě vzájemně do jisté míry závislé) je nutné stanovit odhadem velikost kovariance $\sigma_{x,i,k}$

$$\sigma_{x,i,k} = \sigma_{xi} \cdot \sigma_{xk} \cdot r_{x,i,k}$$

kde $r_{x,i,k}$ je korelační koeficient určující těsnost vztahu mezi veličinami v mezích (-1 až 1). Rozšířená nejistota měření doporučená v rámci WECC Doc. 19/1990 vychází ze spolehlivostních záruk ve vyjadřování možných výsledků výstupní veličiny.

Za předpokladu platnosti normálního (Gaussova) rozdělení je volena hodnota spolehlivostního koeficientu cca 95% a proto rozšířenou nejistotu měření ve tvaru $\pm u$ získáme :

$$u = 2 \cdot \sigma_y = 2 \cdot \frac{\delta_y \cdot x}{100}$$

4.1.3 Výpočet nejistoty měření emisí stacionárních zdrojů

Ovlivňujícími vstupními veličinami při měření emisí ve spalínách stacionárních zdrojů jsou:

- Soubor vlivů způsobující odlišnost v průběhu měření (provozní podmínky)
- Soubor vlivů způsobující odlišnost v indikaci zjištěných koncentrací analyzátorů (provozní podmínky analyzátoru),
- Nejistota parametrů referenčních plynů používaných při kalibraci analyzátorů.

Způsob vyjádření nejistoty měření je rovněž závislý na použitých jednotkách k vyjádření emisí, tj. v tomto případě v $[\text{mg}/\text{m}^3]$, neboť tím jsou ze skupiny provozních podmínek motoru přesněji vyjádřeny vstupní ovlivňující veličiny (veličiny, u kterých vlivy přesněji vyjádříme , ze souboru relativně stálých podmínek při měření emisí).

Při měření emisí (objemová koncentrace v suchých či vlhkých plynech) bude realizován následující postup, kde do vybraných vstupních ovlivňujících veličin uvažujeme :

- Nejistotu hodnoty objemové koncentrace referenčního plynu pro kalibraci. Jako referenční plyny jsou používány plyny a.s. LINDE-TECHNOPLYN, pro plyn je dodáván certifikát se zaručovaným údajem o nejistotě koncentrace. Tato hodnota je považována za hodnotu rozšířené nejistoty u a je vyjádřena v % či ppm.

Střední směrodatná odchylka veličiny je označena σ_R ,

- Nejistotu kalibrace analyzátoru, která charakterizuje parametry analyzátoru (reprodukovatelnost, drift, linearitu) a ovlivnění údajů analyzátoru okolními podmínkami (teplota, atmo-sferický tlak, relativní vlhkost a další). Nejistota kalibrace se určí vyhodnocením souboru dat získaných snímáním měřicí ústřednou při kalibraci analyzátoru referenčním plynem. Vyhodnocená střední hodnota ze souboru údajů analyzátoru v průběhu kalibrace odpovídá objemové koncentraci referenčního plynu. Nejistotu měření určíme jako střední směrodatnou odchylku v získaném souboru měření.

Střední směrodatná odchylka je označena σ_K ,

- Nejistotu vlastního měření objemových koncentrací emisí. Tato složka nejistoty obsahuje působení vlivů souhrnně označovaných provozní podmínky jednotlivé složky provozních podmínek se přesněji nespecifikují, posuzují se souhrnně a kvantifikují se velikostí střední směrodatné odchylky stanovené vyhodnocením souboru vlastního měření objemových koncentrací emisí. Datový soubor je zaznamenáván ve zvoleném měřeném cyklu v délce 30 min při frekvenci snímání 5 s, tj. s četností souboru 360 hodnot při automatizovaném záznamu nebo 7 hodnot při manuálním odečtu z analyzátorů.

Střední směrodatná odchylka je označena σ_M ,

Výslednou základní nejistotu objemové koncentrace $c_{v,i}$ určíme v tomto případě vztahem:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_K^2 + \sigma_M^2}$$

4.2 Vyhodnocení měření a nejistota hodnoty hmotnostní koncentrace složky emise.

Limity hmotnostní koncentrace škodlivin jsou nařízením vlády č. 146/2007 Sb.

Pospis měření :

- Při elektrochemickém analyzátoru : 3 cykly v délce 15 minut (minimálně 5 sekund interval, 180 hodnot).
- Při ostatní analyzátor : 6 hodin měření s cykly 30 min, 12 cyklů, minimálně 30 sekund interval, 60 hodnot).

Výpočet koncentrací složek CO, NO_x, O₂, T.HC

a) v jednotlivých cyklech

- střední objemová koncentrace složky emise:
$$\bar{c}_{s,i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n c_{v,i,j}$$

- střední směrodatná odchylka složky emise:
$$\bar{\sigma}_{s,i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (c_{v,i,j} - \bar{c}_{v,i})^2}$$

- relativní směrodatná odchylka složky emise:
$$\bar{\delta}_{s,i} = \frac{\bar{\sigma}_{v,i}}{\bar{c}_{v,i}} \cdot 100\%$$

kde : n počet naměřených hodnot v cyklu 15 event. 30 min.

b) v celém souboru měření (celkové hodnoty ze 3 event. 12 cyklů)

- střední objemová koncentrace složky emise:
$$c_{s,i,stř} = \frac{1}{3} \sum_1^3 \bar{c}_{s,i}$$

- střední směrodatná odchylka složky emise:
$$\sigma_{s,i,stř} = \frac{1}{3} \sum_1^3 \bar{\sigma}_{s,i}$$

- střední relativní směrodatná odchylka složky emise:
$$\delta_{s,i,stř} = \frac{\sigma_{s,i,stř}}{c_{s,i,stř}} \cdot 100$$

Poznámka: výše uvedené vztahy platí pro měření analyzátorů elektrochemickými převodníky (3 cykly), pro měření kontinuálními analyzátorů je počet cyklů 12.

Nejistota určení hmotnostní koncentrace složky je vypočtena ze složek systematických nejistot a uvádí se jako rozšířená poměrná nejistota pro pásmo spolehlivosti 95% :

kde:

δ_{anal} ... poměrná nejistota měření analyzátoru,

δ_{kalplyn} ... poměrná nejistota referenčního plynu pro kalibraci,

δ_{O_2} ... poměrná nejistota měření objemové koncentrace O_2 dle vztahu

$$\delta_{s,i,3\%} = \sqrt{\delta_{s,O_2,stř}^2 + \delta_{s,i,stř}^2}$$

4.3 Korekce objemové koncentrace na smluvní koncentraci kyslíku ve spalinách.

Stanovení hmotnostních koncentrací škodlivin v exhalacích stacionárních zdrojů znečišťování v $\text{mg/m}^3\text{N}$ při smluvní koncentraci kyslíku ve spalinách vyvolává nutnost přepočtu naměřených koncentrací škodlivin, při měřeném obsahu zbytkového kyslíku, na smluvní (vztažnou) hodnotu koncentrace kyslíku v exhalacích. Korekce se provádí z důvodů:

- mezní přípustné hodnoty koncentrace škodlivin nelze obejít ředěním spalin,
- korigované hodnoty koncentrací lze použít k porovnávání různých stacionárních zdrojů pracujících s různými skutečnými součiniteli přebytku vzduchu.

Korekce se provádí dle vztahu

$$c_{s,i,3\%} = \frac{18}{21-c_{O_2,M}} \cdot c_{s,i} \quad \text{a} \quad c_{s,i,5\%} = \frac{18}{21-c_{O_2,M}} \cdot c_{s,i}$$

kde: $c_{s,i,3\%}$, $c_{s,i,5\%}$... koncentrace korigovaná na smluvní koncentraci O_2 3% event. 5%,

$c_{s,i}$... i koncentrace změřená při skutečné koncentraci O_2 ve spalinách,

$c_{O_2,M}$... naměřená koncentrace kyslíku ve spalinách v (%)

4.4 Přepočet objemových koncentrací na hmotnostní koncentrace

Výpočet hmotnostních koncentrací c_s v ($\text{mg/m}^3\text{N}$) z korigovaných objemových koncentrací $c_{s,3\%}$ event. $c_{s,5\%}$ v (ppm) pro stav plynu v normálních podmínkách se provede podle vztahu:

$$c_{s,N} = c_{s,i,3\%} \cdot \rho_{N,i} \quad c_{s,N} = c_{s,i,5\%} \cdot \rho_{N,i}$$

kde: $\rho_{N,i}$... je hustota složky v $\text{kg/m}^3\text{N}$ za normálních podmínek (teplota 0°C a tlak $101,325 \text{ kPa}$).

Hustotu složek škodlivin udává následující tabulka v (kg/m³N):

- oxidy dusíku NO _x (udávané jako NO ₂)	2,05
- oxid uhelnatý CO	1,25
- suma nemetanových uhlovodíků	0,536 pro spalování zemního plynu 0,618 pro spalování motorové nafty a topného oleje

4.5 Přepočet koncentrace v suchých plynech na koncentraci ve vlhkých plynech

Naměřenou koncentraci v suchých plynech lze přepočítat na koncentraci ve vlhkých plynech dle vztahu

$$c_{s,N}^v = \bar{c}_{s,N} \cdot \left[1 - Y \cdot \frac{G_{pal}}{G_{vzd}} \right]$$

kde: $c_{s,N}^v$... koncentrace složky ve vlhkých plynech (mg/m³),

$\bar{c}_{s,N}$... hmotnostní koncentrace v suchých plynech (mg/m³N),

Y ... počet atomů vodíku připadající na atom uhlíku v palivu,

G_{vzd} ... spotřeba paliva (kg/h),

G_{pal} ... spotřeba vzduchu (kg/h).

Za hodnotu Y lze pro jednotlivá paliva použít hodnotu:

-motorová nafta a topný olej 1,86 -benzin 1,85

- zemní plyn 3,96

- propan-butan 60/40 2,525

Pro jiná paliva lze hodnotu Y určit ze vztahu

$$Y = \frac{h/H}{c/C}$$

kde: h - hmotnostní podíl vodíku v palivu (kg/kg),

c - hmotnostní podíl uhlíku v palivu (kg/kg),

H - atomová hmotnost vodíku,

C - atomová hmotnost uhlíku.

4.6 Výpočet emisní toku složky

Emisní toky se vyhodnocují pro stav suchých plynů při smluvním obsahu kyslíku ze střední hodnoty koncentrace složky za měření.. Objemové koncentrace složek NMHC se při měření určují za podmínek vlhkých plynů a proto je nutné provést jejich přepočet na podmínky suchých plynů. Pro emisní tok platí obecný vztah

$$E_i = C_{s,i,stř}^v \cdot \rho_i \cdot V_{sp} = C_{s,i,stř}^v \cdot \frac{\rho_i}{\rho_{sp}} \cdot G_{sp} = C_{s,i,stř}^v \cdot \frac{\rho_i}{1,293} \cdot [G_{pal} + G_{vzd}]$$

kde: $C_{s,i,stř}$... střední objemová koncentrace složky emise v suchých plynech

Pro výpočet toku emise musí určit průtočná množství paliva a vzduchu. Jsou možné dva způsoby určení těchto veličin:

- přímé měření obou složek G_{pal} , G_{vzd}
- přímé měření jedné složky a výpočet druhé pomocí součinitele přebytku vzduchu stanoveného z obsahu kyslíku ve výfukových plynech.

4.6.1 Měření objemového průtočného množství paliva

a) postup při vyhodnocení jednotlivých cyklů Provádí se zjišťováním doby spotřeby stanoveného objemu paliva. Pro plynná paliva se současně provádí i přepočet na normální podmínky $p = 101,325 \text{ kPa}$ a $t = 0^\circ\text{C}$.

Střední objemová spotřeba paliva v cyklu se určí vyhodnocením n měření.

$$\bar{V}_{pal} = \frac{V}{\bar{\tau}} \quad \text{pro střední dobu spotřeby} \quad \bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

Parametry variability střední doby určují střední směrodatná odchylka resp. relativní odchylka doby spotřeby a přesnost objemového měřidla e

$$\bar{\sigma}_\tau = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau})^2} \quad \delta_\tau = \frac{2 \cdot \bar{\sigma}_\tau}{\bar{\tau}}$$

Variabilita objemového množství paliva je vyjádřena výslednou nejistotou kde $S_{prům}$ je nejistota měření průtokoměru.

Pro plynná paliva je nutné provádět přepočet na normální podmínky. Přepočítávací koeficient je

$$K = \frac{T_N}{T} \cdot \frac{P_{pal}}{P_N}$$

pokud v průběhu měřeného cyklu jsou veličiny ve vztahu pro výpočet proměnlivé, použijí se k určení k střední hodnoty těchto veličin a jejich variabilita se posoudí výpočtem střední směrodatné odchylky jednotlivých veličin a střední relativní odchylkou součinitele k.

Střední objemová spotřeba paliva přepočtená na normální podmínky bude ve statistických parametrech ve tvaru

$$\bar{V}_{pal_N} = k \cdot \bar{V}_{pal}$$

A střední relativní směrodatná odchylka:
$$\bar{\delta}_{pal_N} = \sqrt{\delta_{pal}^2 + \delta_k^2}$$

Pozn:

- K posouzení variability přepočítávacího koeficientu lze použít přibližný postup, který vyhodnocuje pouze přesnost použitých měřidel (teplota, tlak). Pak střední relativní odchylka koeficientu k bude

$$\delta_k = \sqrt{\delta_t^2 + \delta_p^2}$$

Pro kapalná paliva se zpravidla přepočet na normální podmínky neprovádí.

- Hmotnost spotřebovaného paliva $G_{pal,N} = V_{pal,N} \cdot \rho_N \text{ (kg/h)}$

a střední relativní odchylka $\delta_{pal\ G} = \delta_{pal\ V}$

4.6.2 Určení objemového průtočného množství vzduchu

4.6.2.1 Měření objemového průtočného množství vzduchu

Objemový průtok vzduchu lze stanovit průtokoměrem či clonkou (dýzou.) Při vyhodnocování měření spotřeby vzduchu průtokoměrem je postup zpracování výsledků měření obdobný jako při měření spotřeby plynného paliva viz kap. 4.5.1. Pokud se použije k přímému určení spotřeby clonka či dýza, je obecný vztah pro výpočet objemového průtoku vzduchu

$$V_{vzd} = k_1 \cdot \left(1 - \frac{k_2 \cdot p_{cl}}{p_p}\right) \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{cl}}{\rho_{vzd}}}$$

kde : k_1, k_2 konstanty clonky (dýzy),

p_{cl} ... tlakový spád na clonce (dýze),

ρ_{vzd} ... hustota vzduchu v místě měření tlakového spádu na clonce (dýze).

a) postup při vyhodnocování jednotlivých cyklů

Ve stanovených bodech (n) se určí střední hodnoty p_{cl} a p_{vzd} a hodnoty se dosadí do výpočtového vztahu. Střední objemová spotřeba vzduchu v cyklu bude

$$\bar{V}_{vzd} = k_1 \cdot \left(1 - \frac{k_2 \cdot \bar{p}_{cl}}{\bar{p}_p} \right) \cdot \sqrt{\frac{\Delta \bar{p}_{cl}}{\bar{\rho}_{vzd}}}$$

kde: statistické parametry středního tlakového spádu jsou

$$\Delta \bar{p}_{cl} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta p_{cli} \quad \bar{\sigma}_{\Delta p_{cl}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\Delta p_{cli} - \Delta \bar{p}_{cl})^2} \quad \bar{\delta}_{\Delta p_{cl}} = \frac{\bar{\sigma}_{\Delta p_{cl}}}{\Delta \bar{p}_{cl}}$$

Celková střední relativní odchylka spotřeby vzduchu bude ve tvaru

$$\delta_{vzd} = \sqrt{\delta_{\rho_{vz}}^2 + \delta_{p_b}^2 + \bar{\delta}_{\Delta p_{cl}}^2}$$

kde: $\delta_{p'}$, δ_{p_b} jsou střední relativní odchylky hustoty vzduchu a atmosférického tlaku.

4.6.2.2 Výpočet objemového průtočného množství vzduchu

Výpočet vychází ze známé velikosti součinitele přebytku vzduchu, jehož střední hodnota v cyklu a relativní směrodatná odchylka, je podle obsahu zbytkového kyslíku ve výfukových plynech v procentech dle vztahu

$$\bar{\lambda} = \frac{21 - 0,1 \bar{c}_{O_{2M}}}{21 - \bar{c}_{O_{2M}}} \quad \delta_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\bar{\delta}_{\bar{c}_{O_{2M}}}^2}$$

Střední objemový průtok vzduchu v cyklu bude

$$\bar{V}_{vzd} = \bar{\lambda} V_{pal_N} \cdot \rho_N \cdot L_t$$

Kde L_t .. teoretická spotřeba vzduchu na spálení 1 kg paliva (kg/kg) Rozšířená poměrná nejistota spotřeby vzduchu

$$\delta_{vzd} = \sqrt{\delta_{\bar{\lambda}}^2 + \bar{\delta}_{pal_N}^2}$$

4.6.3 Stanovení hmotnosti spalin v cyklu

Střední hmotnost spalin a střední relativní odchylka hmotnosti spalin

$$\bar{G}_{sp} = \bar{G}_{vzd} + \bar{G}_{pal} = \bar{V}_{vzd} \cdot \rho_{vzd} + \bar{V}_{pal} \cdot \rho_{pal} \quad \delta_{sp} = \sqrt{\delta_{pal}^2 + \delta_{vzd}^2}$$

$$\bar{G}_{sp} = (1 + \bar{\lambda}L_t) \cdot \bar{G}_{pal}$$

$$\delta_{sp} = \sqrt{2\delta_{pal}^2 + \delta_{\bar{\lambda}}^2}$$

Střední hmotnostní tok složky emise pro normální podmínky a vlhké plyny a střední relativní odchylka pak bude:

$$\bar{E}_i = c_{v,i}^v \cdot \rho_i \cdot \bar{V}_{sp} = c_{v,i}^v \cdot \rho_i \cdot \frac{\bar{G}_{pal} + \bar{G}_{vzd}}{1,293}$$

$$\delta_{E_i} = \sqrt{\delta_{c,v,i}^2 + \delta_{sp}^2}$$

4.7 Výpočet emisního faktoru

a) výpočet z přímého měření

Střední hodnota emisního faktoru je dána vztahem pro plynné palivo

$$f_{i,stř} = \frac{E_{i,stř}}{V_{pal,stř}} \cdot 10^6 \quad (\text{kg}/10^6 \text{m}^3_N \text{ paliva, kg/h, mVh})$$

pro kapalně palivo

$$f_{i,stř} = \frac{G_{i,stř}}{G_{pal,stř}} \cdot 10^3 \quad (\text{kg}/10^3 \text{ kg paliva, kg/h, kg/h})$$

s nejistotami měření

$$\delta_{f,i,stř} = \sqrt{\delta_{E_{i,stř}}^2 + \delta_{pal,stř}^2}$$

$$\sigma_{f,i,stř} = \frac{f_{stř} \cdot \delta_{f,i,stř}}{100}$$

b) výpočet ze složení paliva

Pokud je známé složení paliva (teoretická spotřeba vzduchu L_t) lze k výpočtu emisního faktoru použít vztah

$$f_{i,stř} = c_{v,i}^v \cdot \frac{\rho_i \cdot \rho_{pal}}{1,293} \cdot (1 + \lambda_{stř} \cdot L_t) \quad (\text{kg/l } 0^6 \text{m}^3_N \text{ paliva, ppm, kg/m}^3, \text{ kg/m}^3, \text{ kg/kg})$$

V tomto případě bude nejistota měření emisního faktoru

$$\delta_{f,i,stř} = \sqrt{\delta_{i,stř}^2 + 2 \cdot \delta_{\lambda,stř}^2}$$

Poznámka:

Pro spalování zemního plynu lze emisní faktor určit pro známé složení zemního plynu pro suché plyny v normálních podmínkách při referenčním obsahu kyslíku ze vztahu:

$$f_i = c_{s,N,stř} \cdot V_{spalin \text{ min},3\%}$$

$$f_i = c_{s,N,stř} \cdot V_{spalin \text{ min},5\%}$$

kde $V_{\text{spalin min},3\%}$...je minimální množství suchých spalin při spálení m^3_{N} plynu při referenčním obsahu kyslíku 3%

$V_{\text{spalin min},5\%}$...je minimální množství suchých spalin při spálení m^3_{N} plynu při referenčním obsahu kyslíku 5 %.

Minimální množství suchých spalin se vypočte následujícím postupem:

- Množství kyslíku na spalování

$$V_{O_2 \text{ min}} = (c/2 + h/4) \cdot 22,4$$

kde: c ... hmotnostní podíl uhlíku v palivu

h ... hmotnostní podíl vodíku v palivu

- Množství kyslíku na spálení m^3_{N} plynu

$$V^1_{O_2 \text{ min}} = V^1_{O_2 \text{ min}} \cdot \rho_N$$

- Objemové množství vzduchu na spalování při součiniteli přebytku $\lambda=1,0$

$$V_{\text{vzd}, \text{ min}} = \frac{V^1_{O_2 \text{ min}}}{0,21}$$

- Minimální množství suchých spalin pro $\lambda = 1,0$

$$V_{\text{spal}, \text{ min}} = 22,26 \cdot \frac{c}{12} + 0,0003 \cdot V_{\text{vzd}, \text{ min}} + 0,79 V_{\text{vzd}, \text{ min}} + \text{obsahCO}_2 + \text{obsahN}_2$$

- Přebytek vzduchu pro referenční obsah kyslíku

pro obsah 3%

pro obsah 5%

$$\Delta V_{\text{vzd}} = 0,1667 \cdot V_{\text{vzd}, \text{ min}}$$

$$\Delta V_{\text{vzd}} = 0,3125 \cdot V_{\text{vzd}, \text{ min}}$$

- Celkové minimální množství suchých spalin

$$V_{\text{spalin}} = V_{\text{spalin}, \text{ min}} + \Delta V_{\text{vzd}}$$

Rozšíření nejistota emisního faktoru je v tomto případě výpočtu shodná s nejistotou hmotnostní koncentrace složky přepočtené pro referenční obsah kyslíku ve spalinách.

5. Postup vyhodnocování znečišťujících zdrojů při zpracování souboru autorizovaných měření zdrojů.

Výsledky v tabulkách jsou získány z protokolů o autorizovaném měření emisí od roku 2003 do 2011 v Zkoušební laboratořích pístových spalovacích motorů Technické Univerzity v Liberci

K vyhodnocení byla použita metoda regresní analýzy.

5.1 Metoda regresní analýzy

- Regresní analýza:

Je analytická statistická metoda která umožňuje:

- určení vhodného vztahu (regresní funkce) mezi dvěma či více závislými náhodnými veličinami,
- určení míry těsnosti vztahu (regresní funkce) s hodnotami výběrového souboru.

- Výpočet regresního koeficientu

Regresní koeficient se zjišťuje odhadem na základě vyhodnocení výběrového souboru.

Regresní koeficient má obdobné vlastnosti jako korelační koeficient. Velikost koeficientu je v rozmezí $-1 \leq r_{xy} \leq 1$.

Odhad střední hodnoty podmíněných středních hodnot závislé náhodné veličiny:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Rozptyl závislé náhodné veličiny:

$$\bar{\sigma}^2_y = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}]^2$$

Pro posouzení průběhu regresní funkce se použije rozptyl vzhledem k teoretickým hodnotám (hodnotám na regresní přímce):

$$\bar{\sigma}^2_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}]^2$$

Regresní koeficient

$$R_{xy} = r_{xy} = \sqrt{1 - \frac{\bar{\sigma}^2_{xy}}{\bar{\sigma}^2_y}}$$

5.2 Analýza jednotlivých zdrojů

Zdroj:

- 1) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, tepelný příkon 3,7 MW (místní označení soustrojí č.1), výrobní číslo 620 16. 00306 soustrojí č.1, elektrický výkon 1160 KW.
- 2) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, tepelný příkon 3,7 MW (místní označení soustrojí č.2), výrobní číslo 620 16. 00307 soustrojí č.2, elektrický výkon 1160 KW.
- 3) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, tepelný příkon 3,7 MW (místní označení soustrojí č.3), výrobní číslo 620 16. 00288 soustrojí č.3, elektrický výkon 1160 KW.
- 4) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, tepelný příkon 3,7 MW (místní označení soustrojí č.4), výrobní číslo 620 16. 00287 soustrojí č.4, elektrický výkon 1160 KW.
- 5) Kogenerační jednotka JENBACHER J 616 GS-C02, tepelný příkon 4,4 MW (místní označení soustrojí č.1), výrobní číslo 261685 3, elektrický výkon 1754 KW
- 6) Kogenerační jednotka JENBACHER J 616 GS-C02, tepelný příkon 4,4 MW (místní označení soustrojí č.2), výrobní číslo 261685 3, elektrický výkon 1754 KW
- 7) Kogenerační jednotka JENBACHER J 616 GS-C02, tepelný příkon 4,4 MW (místní označení soustrojí č.3), výrobní číslo 261685 3, elektrický výkon 1754 KW
- 8) Kogenerační jednotka TEDOM MT 1000 CAT, tepelný příkon 2,83 MW (místní označení soustrojí č.1), výrobní číslo 117- 6698 série 4 EKO 145, elektrický výkon 954 KW.
- 9) Kogenerační jednotka TEDOM MT 1000 CAT, tepelný příkon 2,83 MW (místní označení soustrojí č.2), výrobní číslo 112- 7520 série 4 EKO 145, elektrický výkon 954 KW.
- 10) Plynové zdrojové soustrojí JMS 616, výrobní číslo 3441571, elektrický výkon 1942 KW
- 11) Plynové zdrojové soustrojí JMS 316, výrobní číslo 3441221, elektrický výkon 803 KW

Autorizované jednorázové měření emisí a ověření výkonu motoru bylo provedeno ve třech krátkodobých nepřetržitých 15 minutových měřeních výkonu. Analyzátor MRU- 95/3D snímal koncentrace složek v intervalu 3 sekund (složky CO, NO_x, O₂).

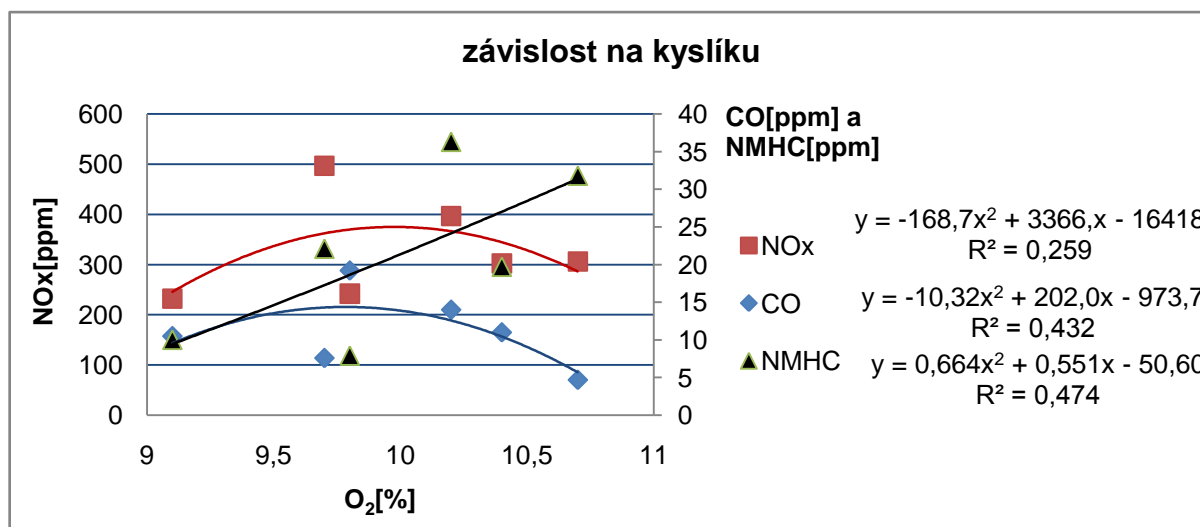
Nejistota měření hmotnostní koncentrace přepočtená na 5% obsah kyslíku ve výfukových plynech.

1) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, výrobní číslo 620 16. 00306 soustrojí č.1, elektrický výkon 1160 KW.

Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2003	9,7	7,6	496,5	22,1	91,7	5988,1	323,2
2004	10,2	14	396,7	36,3	167,8	4755,2	435,1
2006	10,7	4,7	305,9	31,8	56,3	3395,1	449,5
2008	10,4	11	302,2	19,7	133	3655	238,3
2009	9,8	19,2	241,9	7,9	235,3	2963,1	111,5
2010	9,1	10,5	232,2	10	129,5	2986,3	124
\bar{x}	9,98	11,17	329,23	21,3	135,6	3957,13	280,27
σ	0,74	6,52	130,19	14,67	80,08	1538,35	190,72
δ	7,41	58,37	39,54	68,87	59,06	38,88	68,05

Tab.1

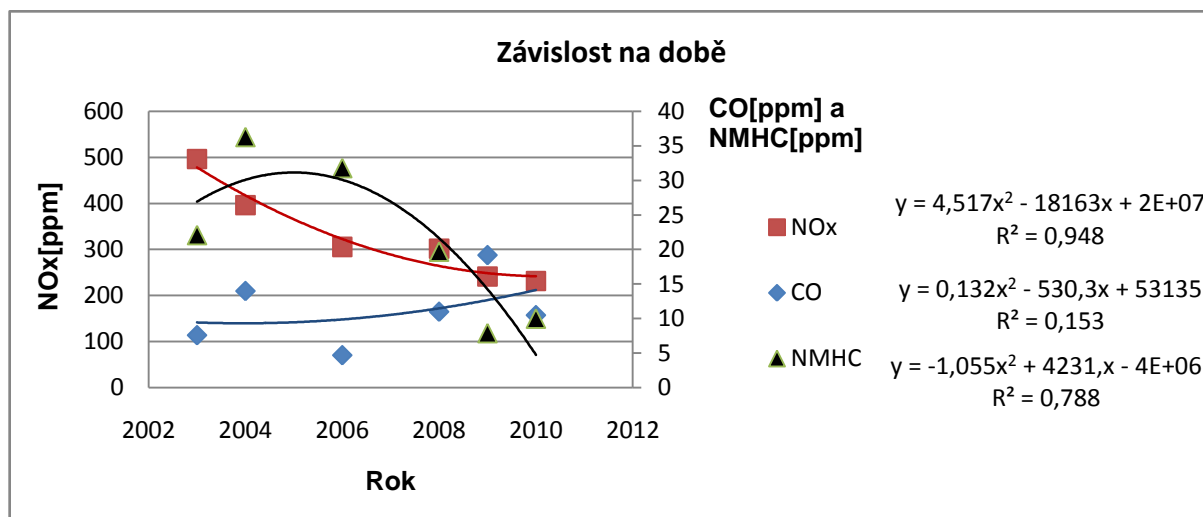
Pro tuto kogenerační jednotku jsem získal údaje v letech 2003-2010. Z jednotlivých údajů jsem vypočítal střední hodnoty \bar{x} , směrodatnou odchylku σ a relativní směrodatnou odchylku δ .



Graf.1

Údaje jsem zakreslil do grafu a pomocí regresní analýzy jsem získal tyto vztahy.

Popis průběhů: NO_x je v závislosti na obsahu O₂, při průběhu nejprve roste z 232,2[ppm] do hodnoty (9,7 ÷ 10% O₂) a pak klesá. Při popisu průběhu CO můžeme říct, že se vyvíjí stejně jako u NO_x. Hodnoty NMHC se lineárně zvyšují, protože zvyšováním součinitel přebytku vzduchu λ , směs se špatně spaluje a proto tam zůstávají uhlovodíky a jdou do výfuku.



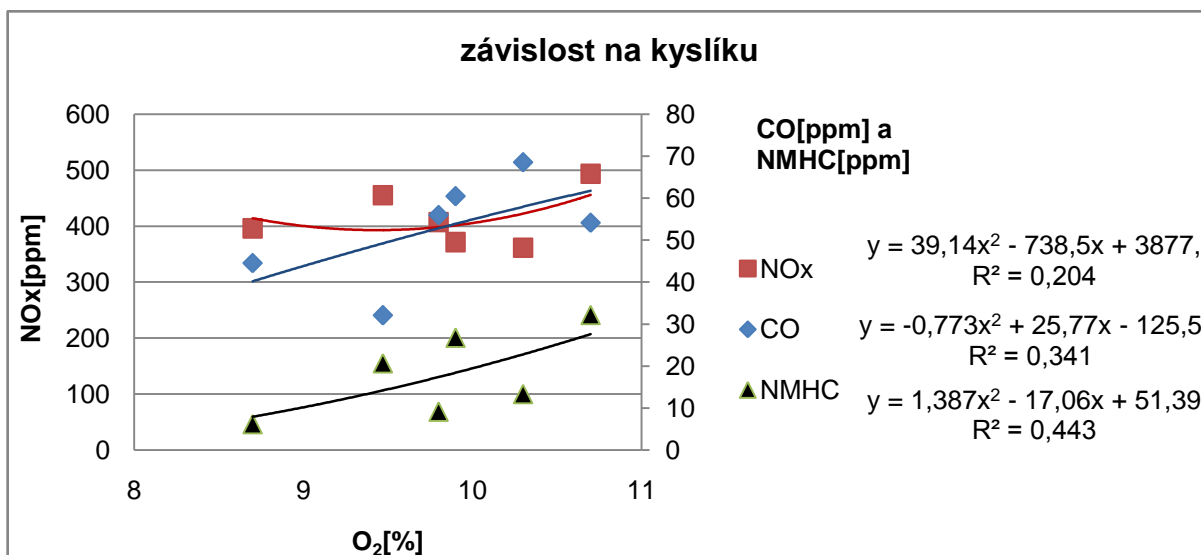
Graf.2

Na grafu můžeme vidět průběhy NO_x a NMHC. Tyto prvky mají trend se snižovat v závislosti na čase. Při pohledu na průběh CO můžeme vidět hodnoty, které se mění jenom díky střední hodnotě $\bar{x}=11,17$ a směrodatné odchylce hodnoty $\sigma=6,52$.

2) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, výrobní číslo 620 16. 00307 soustrojí č.2, elektrický výkon 1160 KW.

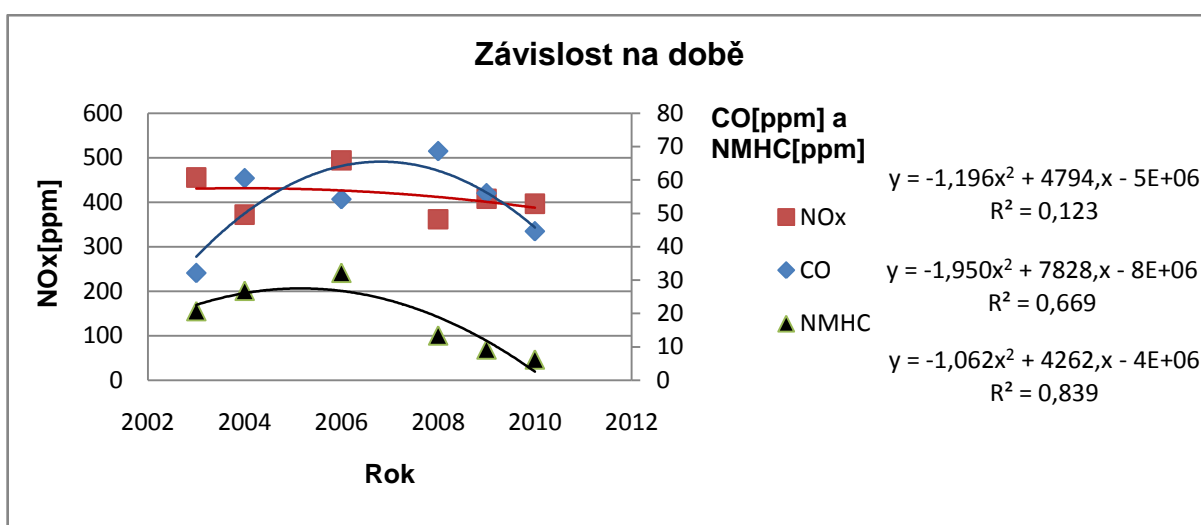
Rok	$\text{O}_2[\%]$	CO[ppm]	$\text{NO}_x[\text{ppm}]$	NMHC[ppm]	Emisí faktor $[\text{Kg}/10^6\text{m}^3]$		
					CO	NO_x	NMHC
2003	9,47	32,1	455,4	20,7	387,1	5492,4	302,7
2004	9,9	60,5	371,8	26,8	725,2	4456,7	390,8
2006	10,7	54,2	493,7	32,2	649,7	5917,8	455,5
2008	10,3	68,6	361,6	13,4	826,5	4373,5	186,3
2009	9,8	56	407,4	9,2	685,6	4989,8	129,8
2010	8,7	44,6	396,3	6,2	551,7	4898,2	76,9
\bar{x}	9,81	52,67	414,37	18,08	637,63	5021,4	257
σ	0,89	16,5	65,7	13,22	196,58	770,33	194,09
δ	9,07	31,33	15,86	73,12	30,83	15,34	75,52

Tab.2



Graf.3

Popis průběhu: Obsah O_2 se zvyšuje z 8,7% na 10,7%. Při popisu průběhů CO a NMHC je zřejmé, že hodnoty lineárně rostou. U průběhu NO_x vidíme, že neroste ani neklesá. Mění se pouze se střední hodnotou $\bar{X}=414,37$ a směrodatnou odchylkou hodnoty $\sigma=65,7$.



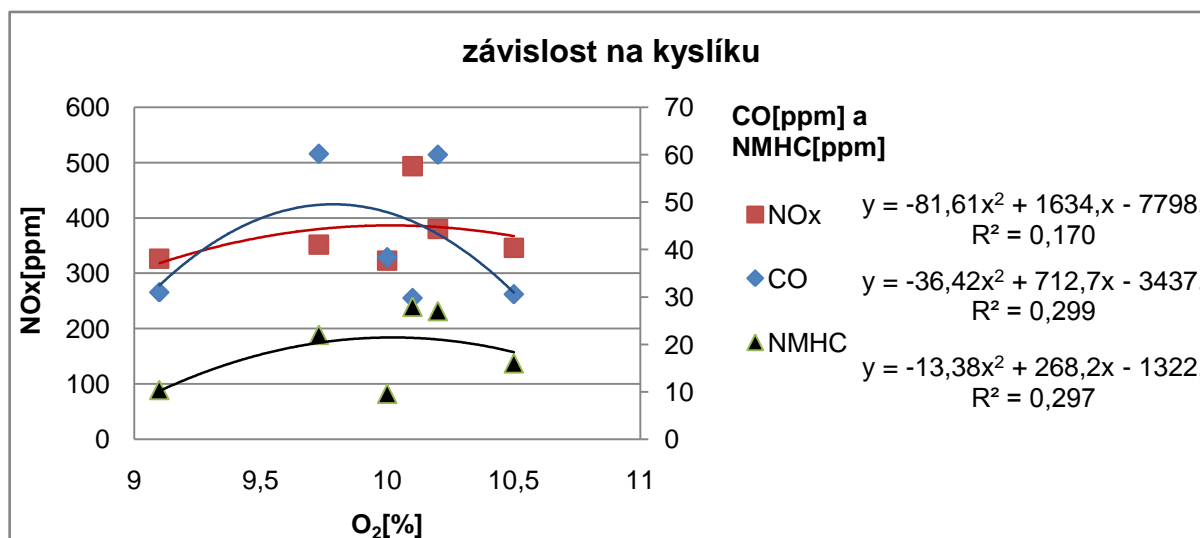
Graf.4

Popis průběhu: Pro průběhy CO a NMHC jsou nejprve roste pak klesá. Pro průběh NO_x neroste ani neklesá

3) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, výrobní číslo 620 16. 00288 soustrojí č.3, elektrický výkon 1160 KW.

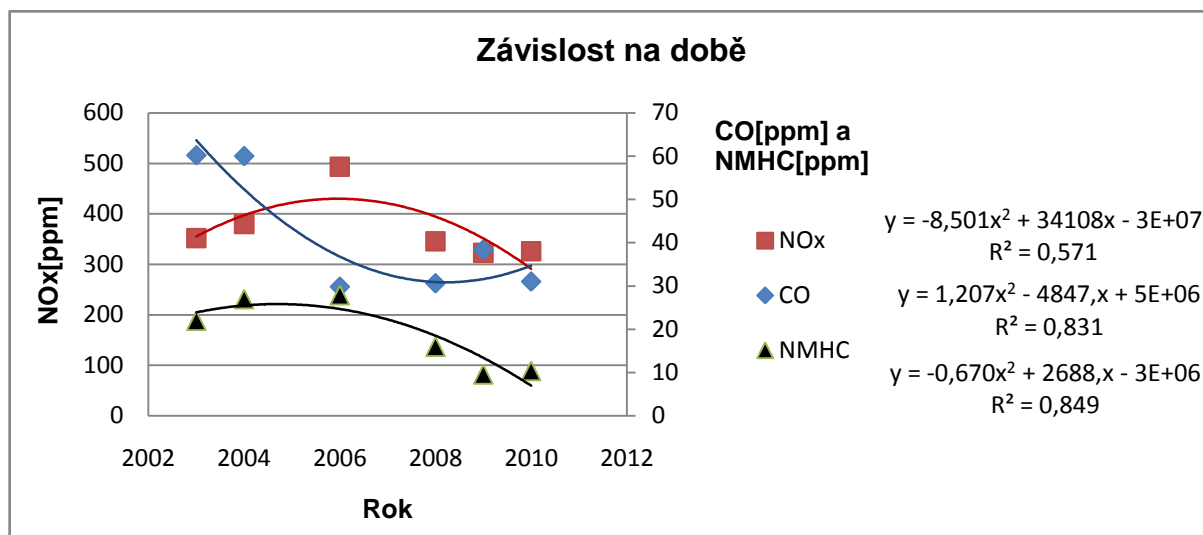
Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2003	9,73	60,2	351,7	22	726	4241,7	322
2004	10,2	60	380	27	720	4321	320
2006	10,1	29,8	493,5	27,9	357,2	5915,4	382,4
2008	10,5	30,6	345,7	16	370,1	4181,2	222,5
2009	10	38,4	322,7	9,6	407,4	3935,1	116,4
2010	9,1	31	325,9	10,4	383,1	4027,5	128,7
\bar{X}	9,94	41,67	369,92	18,82	493,97	4436,98	248,67
σ	0,62	18,86	82,58	10,38	230,05	952,59	142,5
δ	6,24	45,26	22,32	55,15	46,57	21,47	57,3

Tab.3



Graf.5

Napsat průběhy: Pro průběhy CO a NMHC jsou nejprve roste pak klesá. Pro průběh NO_x neroste ani neklesá.



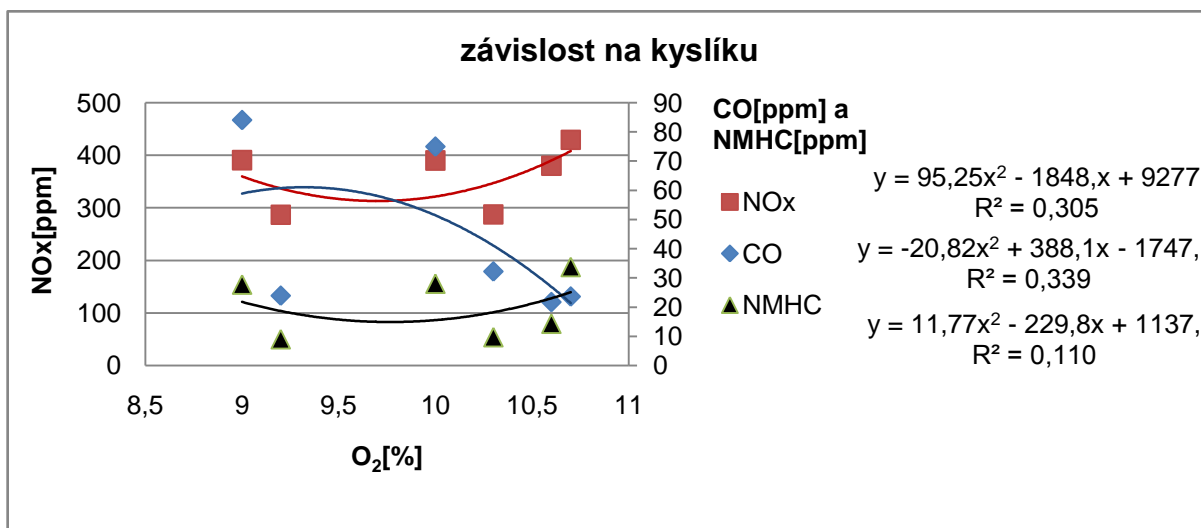
Graf.6

Pro průběhy CO, NO_x a NMHC mají trend snižovat.

4) Kogenerační jednotka MWM DEUTZ TBG 620 V16K, výrobní číslo 620 16. 00287 soustrojí č.4, elektrický výkon 1160 KW.

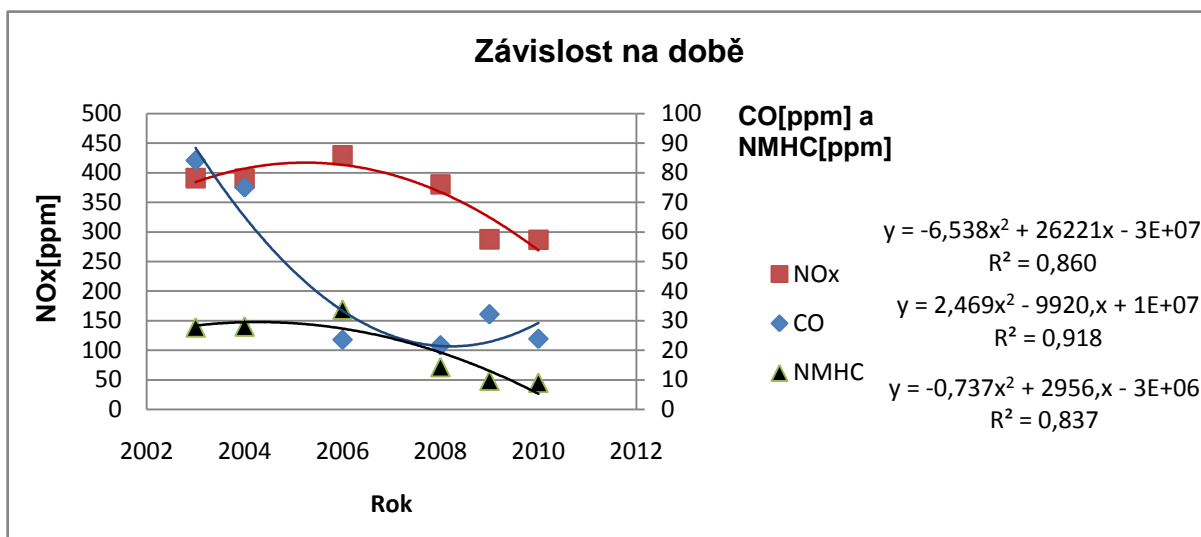
Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2003	9	84,1	390,8	27,7	1014,3	4713,3	405,2
2004	10	75	390	28	935,1	7720	403,3
2006	10,7	23,6	429,3	33,7	282,9	5145,9	457,9
2008	10,6	21,7	380,1	14,3	287,9	4597,2	201,98
2009	10,3	32,2	287,5	9,7	394	3521,7	119
2010	9,2	23,9	286,9	9	294,8	3546,3	111,1
\bar{X}	9,97	43,42	360,77	20,4	534,83	4874,07	283,08
σ	0,93	36,62	76,71	13,78	444,22	1988,94	202,49
δ	9,33	84,34	21,26	67,55	83,06	40,81	71,53

Tab.4



Graf.7

Pro průběhy NO_x a NMHC neroste ani neklesá. Pro průběh CO má trend se snižovat.



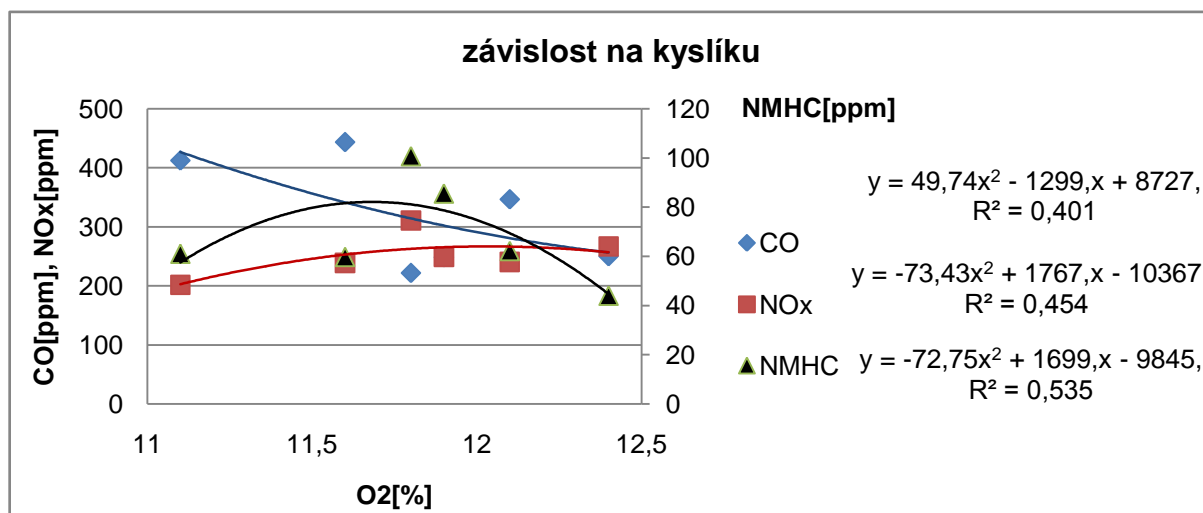
Graf.8

Pro průběhy CO, NO_x a NMHC mají trend se snižovat.

5) Kogenerační jednotka JENBACHER J 616 GS-C02, tepelný příkon 4,4 MW
výrobní číslo 261685 3, elektrický výkon 1754 KW

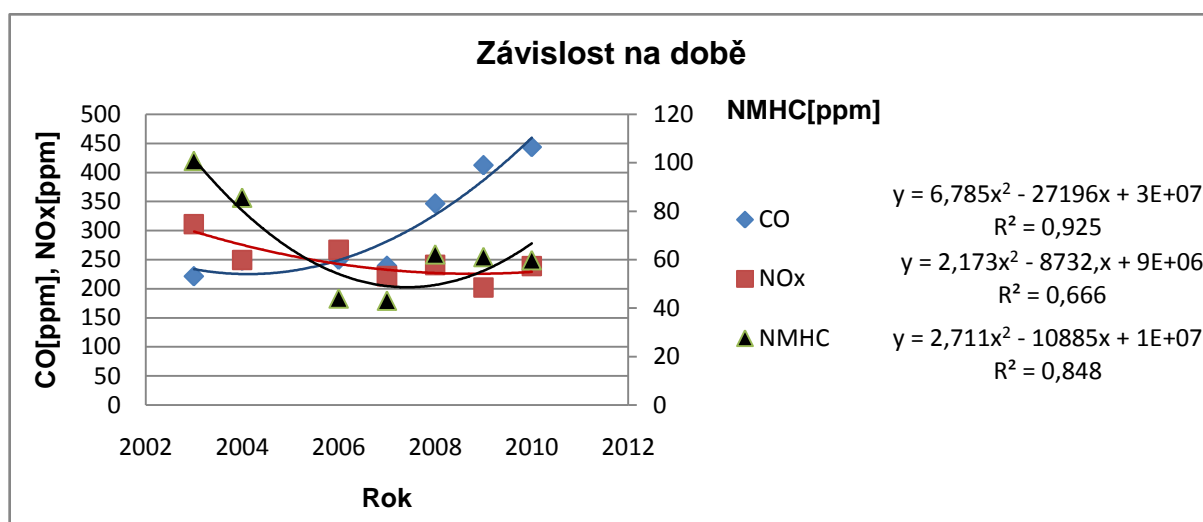
Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2003	11,8	221,7	311	100,8	2673,8	3750,8	1476,2
2004	11,9	248,3	249,3	85,6	2976,3	2988,3	1285
2006	12,4	250,1	267,2	44	2747,8	3202,6	588,6
2007	12,5	239,6	221,6	43,1	2872	2656,3	574,2
2008	12,1	346,7	240,8	62,2	4193,3	2912,4	846,6
2009	11,1	412,6	202,1	61,1	5053,6	2475,6	848,8
2010	11,6	443,8	239,1	59,8	5484,8	2955	739,3
\bar{x}	11,91	308,97	247,3	65,23	3714,51	2991,57	908,39
σ	0,73	169,58	49,68	30,2	2213,34	580,2	507,06
δ	6,13	54,89	20,09	46,3	59,59	19,39	55,82

Tab.5



Graf.9

Průběh NMHC je nejprve roste a pak klesá. Průběh CO má trend klesající. Průběh NO_x neroste ani neklesá.



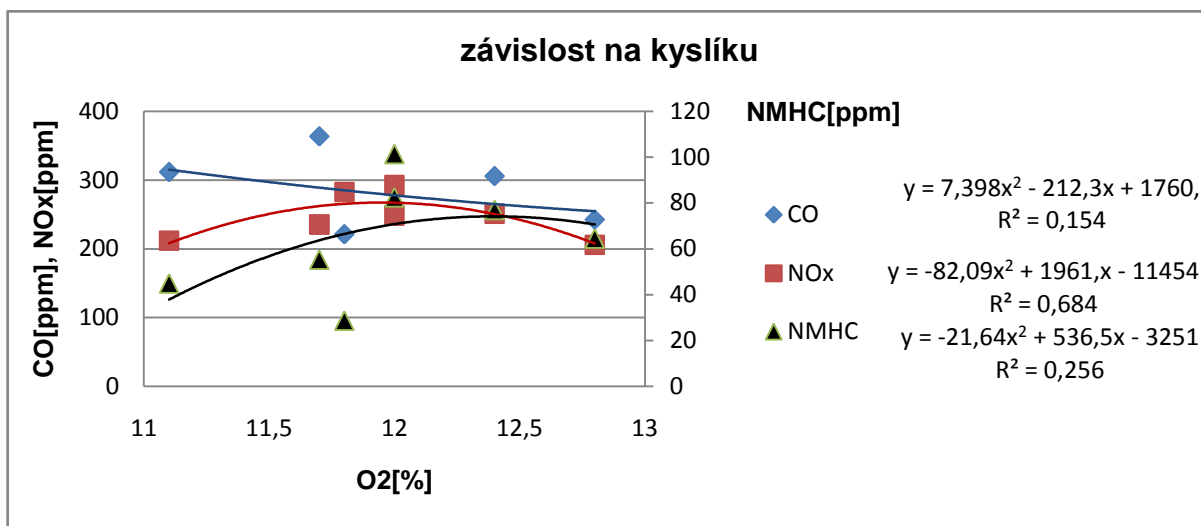
Graf.10

Průběh CO a NMHC jsou nejprve klesá a pak roste. Průběh NO_x klesá.

6) Kogenerační jednotka JENBACHER J 616 GS-C02, tepelný příkon 4,4 MW (místní označení soustrojí č., výrobní číslo 261685 3, elektrický výkon 1754 KW

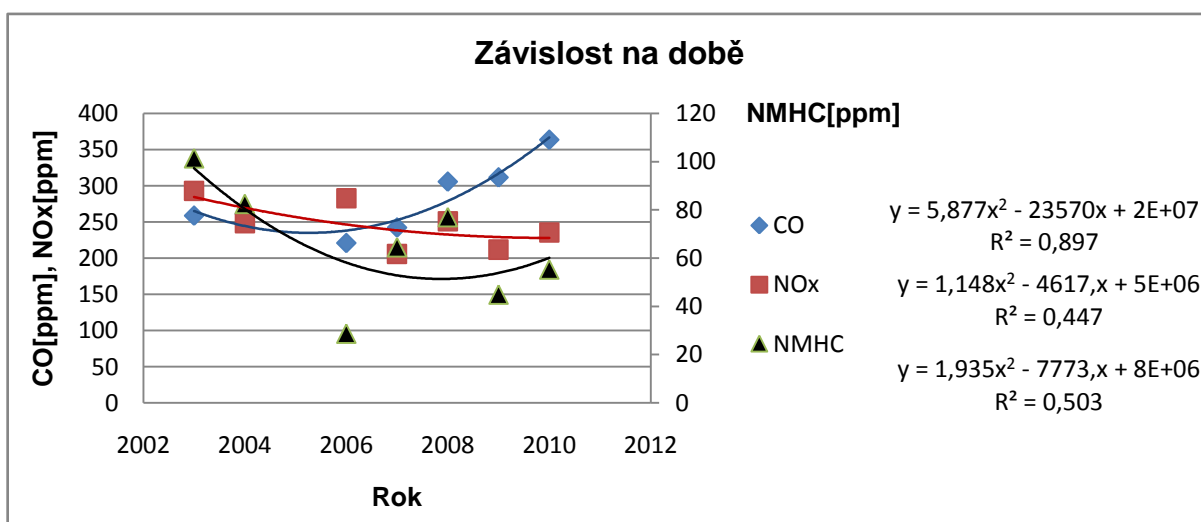
Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2003	12	258,8	293	101,4	3121,3	3535	1484,7
2004	12	261,1	248,5	82,5	3136,9	2978,7	988,9
2006	11,8	221,1	282,7	28,7	2650,3	3388,7	383,6
2007	12,8	242,4	205,8	64,5	2905,6	2466,9	854,7
2008	12,4	305,7	251	77	6480,4	3035,8	1045
2009	11,1	311,6	211,7	44,9	3816,5	2593,6	623,5
2010	11,7	363,5	235,4	55,3	4493,3	2909,4	683,8
\bar{X}	11,97	280,6	246,87	64,9	3800,61	2986,87	866,31
σ	0,79	96,72	47,43	35,48	1970,38	549,97	523,26
δ	6,6	34,47	19,21	54,67	51,84	18,41	60,4

Tab.6



Graf.11

Průběh NO_x a NMHC jsou nejprve roste a pak klesá. Průběh CO klesá.



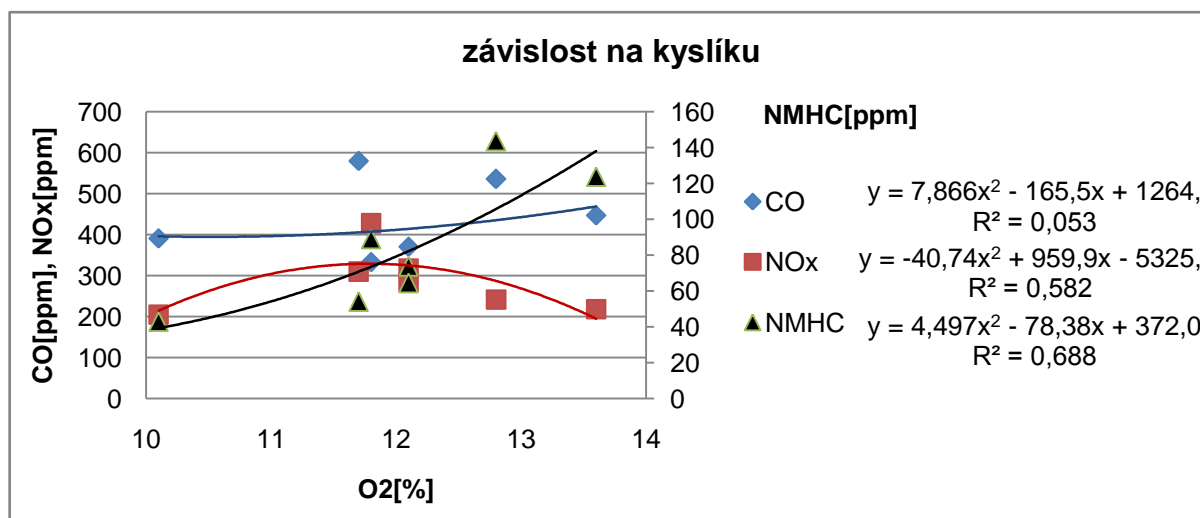
Graf.12

Průběh CO a NMHC jsou nejprve klesá a pak roste. Průběh NO_x klesá.

7) Kogenerační jednotka JENBACHER J 616 GS-C02, tepelný příkon 4,4 MW
(místní oznčení soustrojí č.3), výrobní číslo 261685 3, elektrický

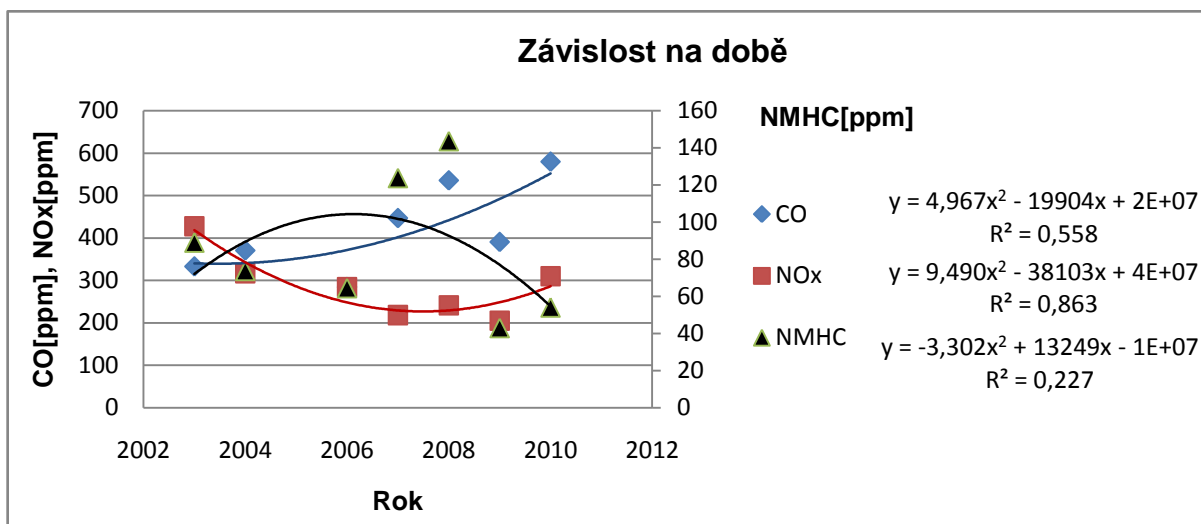
Rok	P[Kw]	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
						CO	NO _x	NMHC
2003	1754	11,8	332,8	428	89	4013,8	5169,2	1303,8
2004		12,1	370,5	317,2	73,7	4441	3802	1074
2006		12,1	284,2	284,2	64,4	4569,6	3406,6	846,2
2007		13,6	446,9	218,1	123,8	5356,9	2614,3	1625,4
2008		12,8	535,8	241,3	143,7	2912,4	2918,5	1940
2009		10,1	390,6	204,9	42,9	4784,3	2509,5	602,6
2010		11,7	580	310	54	7168,3	3831,6	667
\bar{x}		12,03	420,11	286,24	84,5	4749,47	3464,53	1151,29
σ		1,55	200,19	109,59	58,06	2705,92	1336,72	811,14
δ		12,88	47,65	38,29	68,71	56,97	38,58	70,45

Tab.7



Graf.13

Průběh NO_x je nejprve roste a pak klesá. Průběh NMHC je roste. Průběh CO neroste ani neklesá.



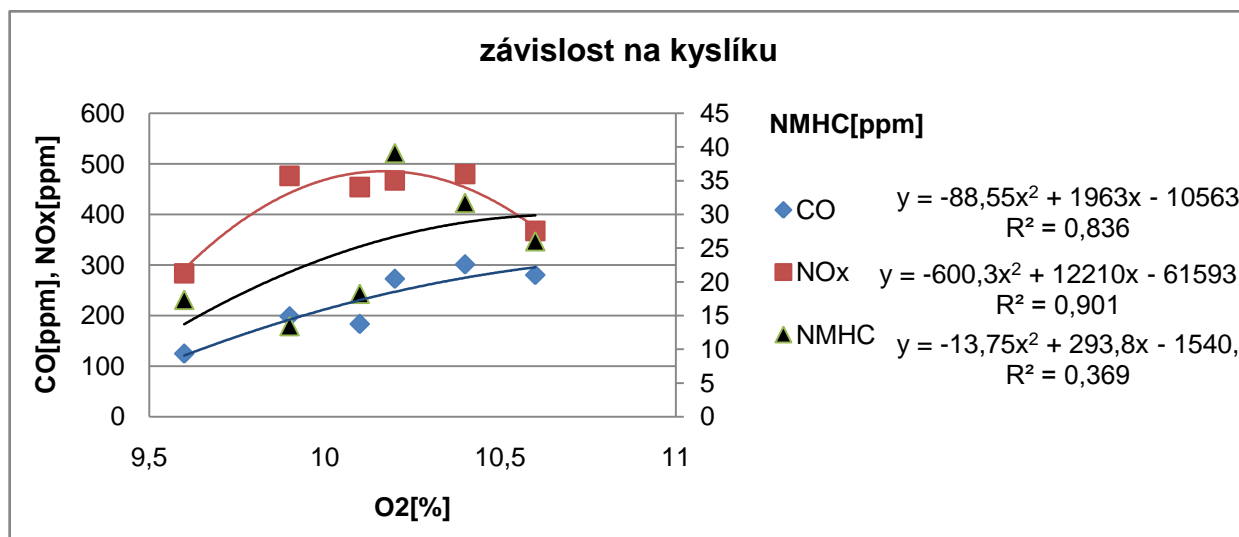
Graf.14

Průběh CO a NO_x jsou nejprve klesá a pak roste. Průběh NMHC je nejprve roste a pak klesá.

8) Kogenerační jednotka TEDOM MT 1000 CAT, tepelný příkon 2,83 MW (místní označení soustrojí č.1), výrobní číslo 117- 6698 série 4 EKO 145, elektrický výkon 954 KW.

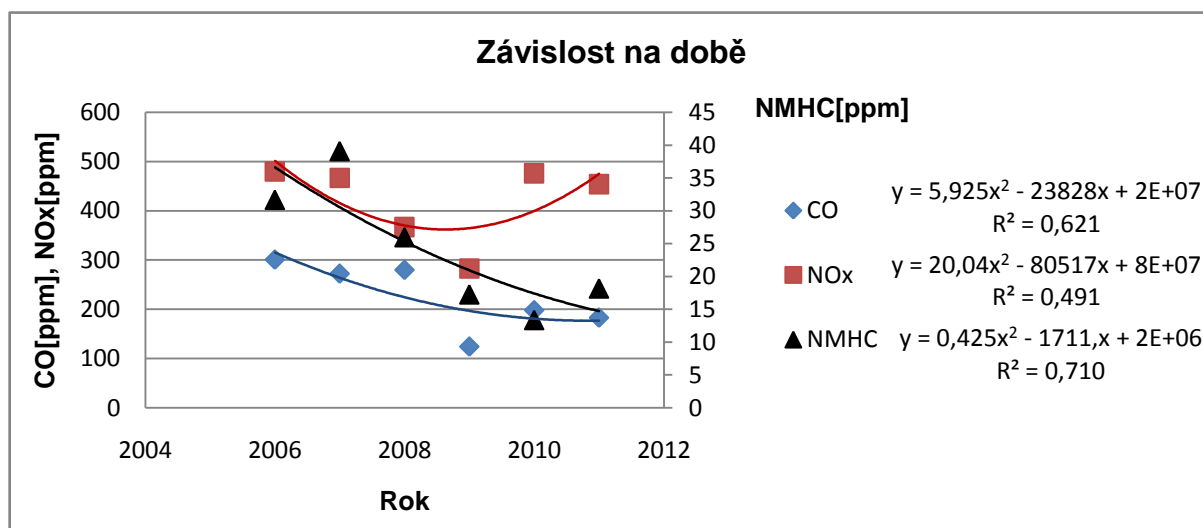
Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2006	10,4	300,9	479,6	31,7	3606,9	5748,8	443,94
2007	10,2	272,4	466,9	39,1	3265,2	5596,6	539,4
2008	10,6	280	367,2	26	120,5	4441,2	314,5
2009	9,6	124,3	283,4	17,3	1522,4	3470	345
2010	9,9	198,1	476,3	13,4	2449	5887,5	189,1
2011	10,1	183	454	18,2	2215,2	5494,5	252,9
\bar{X}	10,13	226,45	421,23	24,28	2196,53	5106,43	347,47
σ	0,46	95,61	105,93	13,61	1628,94	1269,54	181,79
δ	4,54	42,22	25,15	56,05	74,16	24,86	191,14

Tab.8



Graf.15

Průběh CO a NMHC jsou roste. Průběh NO_x je nejprve roste a pak klesá.



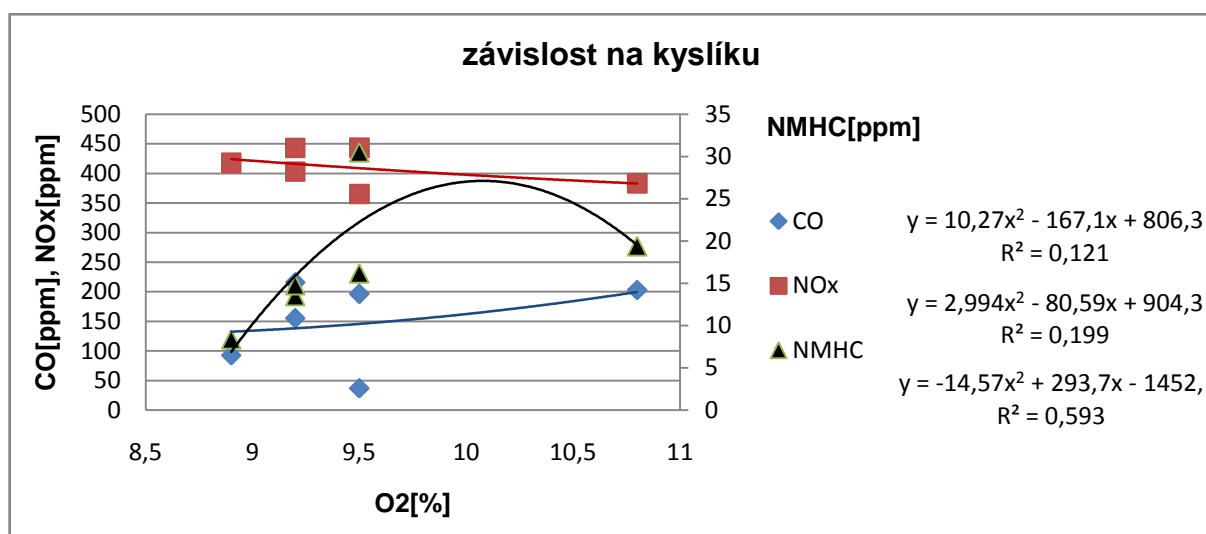
Graf.16

Průběh CO a NMHC jsou klesá. Průběh NO_x je nejprve klesá a pak roste.

9) Kogenerační jednotka TEDOM MT 1000 CAT, tepelný příkon 2,83 MW (místní oznčení soustrojí č.2), výrobní číslo 112- 7520 série 4 EKO 145, elektrický výkon 954 KW.

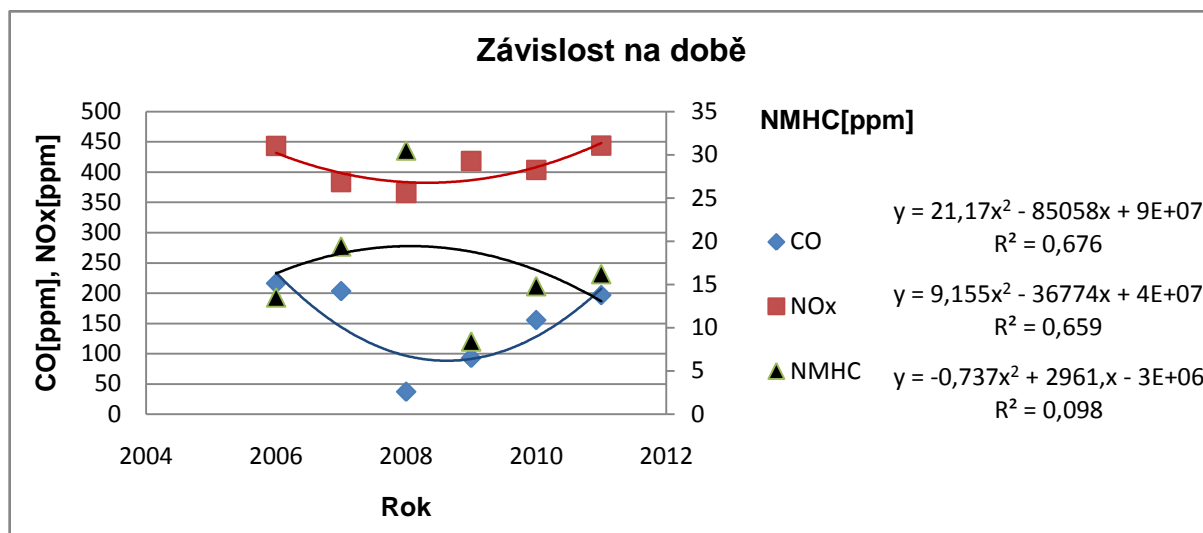
Rok	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
					CO	NO _x	NMHC
2006	9,2	216,1	443,3	13,5	2590,3	5313,7	188,2
2007	10,8	203,2	383,7	19,4	2435,7	4599	232,5
2008	9,5	36,9	365,5	30,5	446,3	4420	368,9
2009	8,9	92,8	418,3	8,4	1136,5	5123	120
2010	9,2	155,3	403,4	14,8	1919	4985,9	183
2011	9,5	196,5	443,7	16,2	2378,3	5369,3	226,4
\bar{X}	9,52	150,13	409,65	17,13	1817,68	4968,48	219,83
σ	0,86	92,11	40,94	9,65	1102,75	497,11	107,62
δ	9,03	61,35	9,99	56,33	60,67	10,01	48,96

Tab.9



Graf.17

Průběh NMHC jsou klesá. Průběh NO_x a CO neroste ani neklesá.



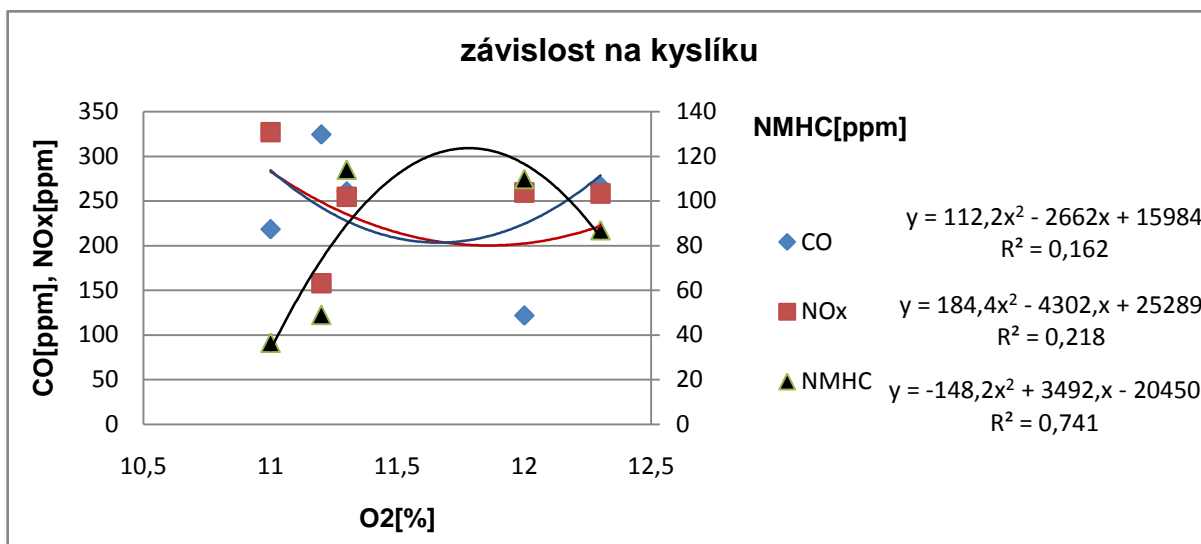
Graf.18

Průběh NMHC je nejdříve roste a pak klesá. Průběh NO_x a CO jsou nejprve klesá a pak roste.

10) Plynové zdrojové soustrojí JMS 616, výrobní číslo 3441571, elektrický výkon 1942 KW

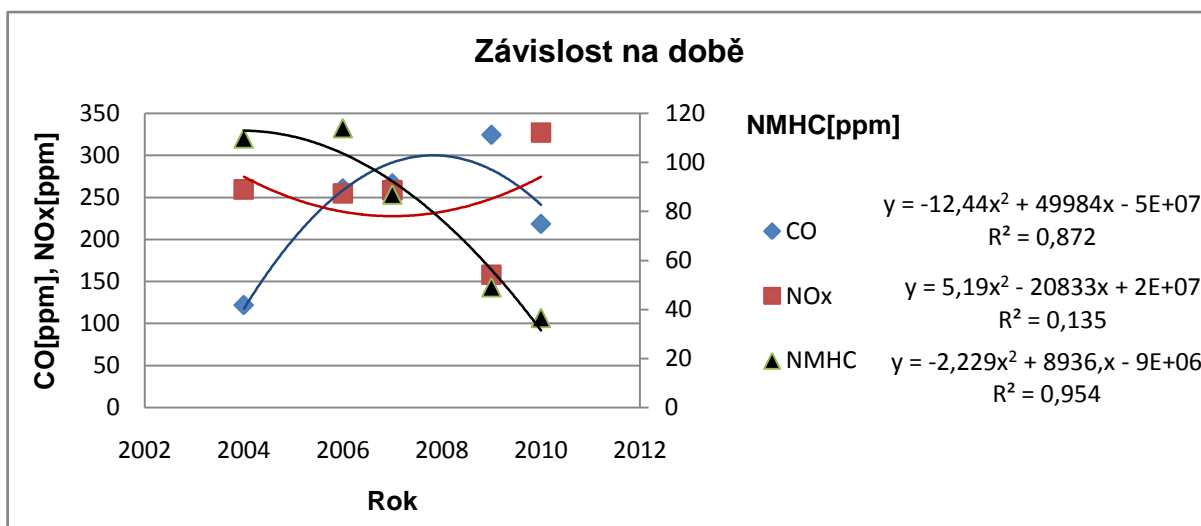
Rok	P[Kw]	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
						CO	NO _x	NMHC
2004	1942	12	121,9	259,4	109,8	1461	3109	1601
2006		11,3	260,6	254,7	114	3123	3053	1546
2007		12,3	266,6	258,3	86,9	3195	3096	1165
2009		11,2	324,3	157,9	49	3972	1934	672,5
2010		11	218,4	326,9	36,5	2698	4040	451,7
\bar{X}		11,56	238,36	251,44	79,24	2889,8	3046,4	1087,24
σ		0,65	86,87	69,68	40,59	1064,1	862,38	593,4
δ		5,62	36,44	27,71	51,22	36,82	28,31	54,58

Tab.10



Graf.19

Průběh CO a NO_x jsou nejprve klesá a pak roste. Průběh NMHC je nejprve roste a pak klesá.



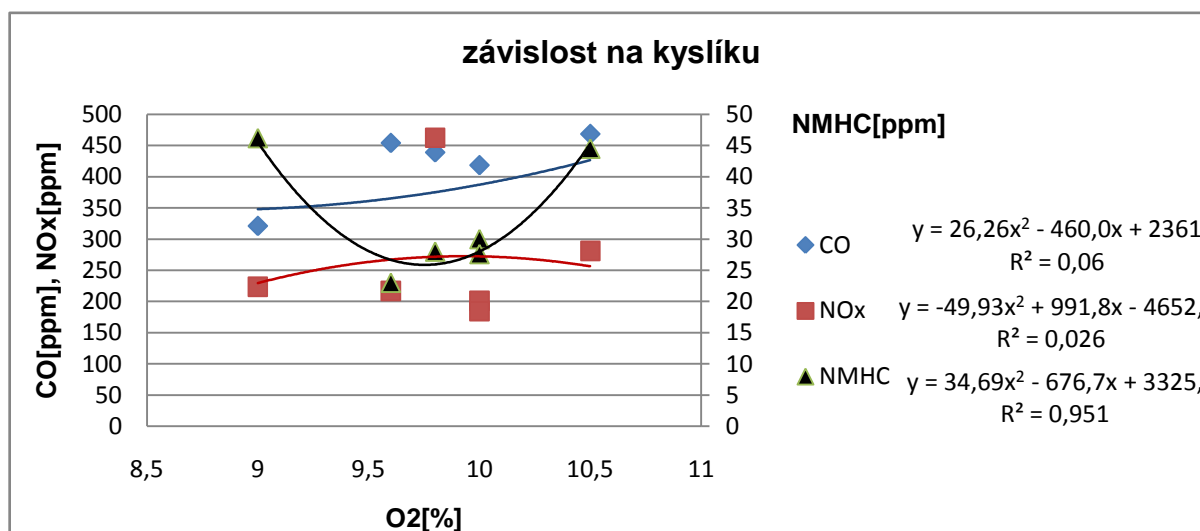
Graf.20

Průběh CO je nejprve roste a pak klesá. Průběh NO_x je nejprve klesá a pak roste. Průběh NMHC je klesá.

11) Plynové zdrojové soustrojí JMS 316, výrobní číslo 3441221, elektrický výkon 803 KW

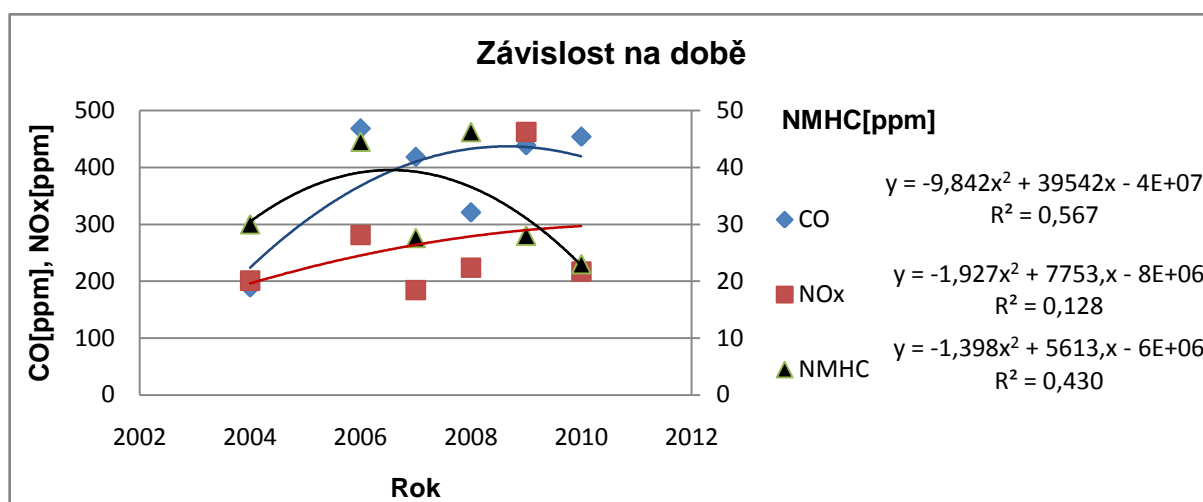
Rok	P[Kw]	O ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NMHC[ppm]	Emisí faktor [Kg/10 ⁶ m ³]		
						CO	NO _x	NMHC
2004		10	189	201	30	2319	2469	448
2006		10,5	468,4	281	44,5	5614	3370	614,9
2007		10	418,4	184,4	27,6	501	2210	330,8
2008		9	321	223,6	46,2	3882	2704	717
2009		9,8	438,9	462,4	28	5376	5664	343
2010		9,6	454	216,9	23	5610	2681	283,7
\bar{x}		9,82	381,62	261,55	33,22	3883,67	3183	456,23
σ		0,65	139,26	133,88	12,51	2713,67	1646,04	224,77
δ		6,62	36,49	51,19	37,66	69,87	51,71	49,27

Tab.11



Graf.21

Průběh CO a NMHC jsou nejprve klesá a pak roste. Průběh NO_x neroste ani neklesá.



Graf.22

Průběh CO a NMHC jsou nejprve roste a pak klesá. Průběh NO_x neroste ani neklesá.

Poznámky a hodnocení:

- Pro všechno kogeneračních jednotkami jsem získal údaje mezi rokem 2003-2011, z jednotlivých údajů jsem spočítal:

\bar{x} ... Střední koncentrace složky emise.

σ ... Střední směrodatná odchylka.

δ ... Relativní směrodatná odchylka.

- Regresní křivka mají tvar polynomický: $y = ax^2 + bx + c$

Koeficient determinace R^2 : vyjadřuje vztah mezi $CO[ppm]$, $NO_x[ppm]$, $NMHC[ppm]$ a $O_2[\%]$ ($R^2=0\div 1$), čím je R větší, tím přesnější jsou výsledky hodnocení.

- Obecně průběh CO , NO_x , $NMHC$ s růstem O_2 (u všech 11 typů kogeneračních jednotek):

Při průběhu CO klesá, nebo neroste u typů kogeneračních jednotek od 1 do 7 (na straně 42), a roste nebo neklesá u typů s kogeneračními jednotkami od 9 do 11 (na straně 42).

Při průběhu NO_x je klesající nebo není rostoucí u skoro všech typů kogeneračních jednotek. Složka NO_x klesá s každým rokem.

Při průběhu $NMHC$ je rostoucí u všech typů kogeneračních jednotek. A klesá s každým rokem.

6. Závěr

V této bakalařské práci jsem se zabýval problematikou plyných emisí stacionárních zdrojů znečišťování a problémem vztahu složení emisí, základními způsoby měření, způsobem vyhodnocení a limity podle vyhlášky 146/2007 Sb.

V hlavní části jsem navrhoval postup statistického zpracování naměřených hodnot, způsobem popisu nejistot při měření složek emisí a dalších veličin.

Získal jsem data o zpracování naměřených měření znečišťujících zdrojů, v období 2003-2011 na různých znečišťujících zdrojích, analyzoval jsem závislost mezi složkami emisí CO, NO_x, NMHC a závislost na O₂ a době(rok) pomocí regresní funkce.

Doufám, že díky výsledkům a hodnocení této bakalařské práce bude v budoucnu tento dokument nápomocný pro studia a měření plyných emisí stacionárních zdrojů znečišťování.

Seznam použité literatury

1. Takáts, M: Měření emisí spalovacích motorů. Skripta ČVUT. Praha, 1997.
2. Jaklová, H: Způsoby přepočtu naměřených koncentrací škodlivých emisí pro spalovací motory ve stacionárních zdrojích znečišťování. Bakalářská práce. TUL, fakulta strojní, 2002.
3. Štechr, V: Rozbor podmínek vzniku emisí NO_x ve výfukových plynech plynového zážehového motoru AVIA NG. Bakalářská práce. TUL. fakulta strojní. 2000.
4. Moc, L: Metodika zkoušek č.MPAL-046/03
5. Nařízení vlády č.146/2007 Sb. O emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.
6. Beroun, St: Vozidlové motory. Skripta. TUL
7. Protokly o autorizovaných měřeních emisí. TUL, 2003 – 2011.
8. Moc, L: Přednášky: Inženýrská Statistika. TUL 2010.
9. Vyhláška Ministerstva životního prostředí , ze dne 11.července roku 2002 Sb.

